

1991-578183 N

Energie-effecten bij inzet WKK in eiland- en parallelbedrijf in kassen

*Energy effects of on-site and parallel use of
cogeneration of heat and power in
greenhouses*

Ing. J.P.G. Huijs
Ir. H.F. de Zwart

imag-dlo



rapport 95-4
mei 1995
prijs f 40,-



0000 0935 5427

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Huijs, J.P.G.

Energie-effecten bij inzet WKK in eiland- en parallelbedrijf in kassen = Energy effects of on-site and parallel use of cogeneration of heat and power in greenhouses / J.P.G. Huijs, H.F. de Zwart – Wageningen : IMAG-DLO. – III. (Rapport / Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Instituut voor Milieu- en Agritechniek ; 95-4)

Met lit. opg. – Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-5406-116-2 geb.

NUGI 849

Trefw.: warmtekrachtkoppeling / energiebesparing ; kassen.

© 1995

IMAG-DLO

Postbus 43 – 6700 AA Wageningen

Telefoon 08370-76300

Telefax 08370-25670

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 enig andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights 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 written permission of the publisher.

Abstract

Huijs, J.P.G. and H.F. de Zwart, IMAG-DLO, Wageningen:
Energy effects of on-site and parallel use of cogeneration of heat and power in greenhouses. (Org. NL), rapport 95-4, 46 pag., 8 tab., 18 fig., 8 ref., IBSN-90-5406-116-2.

An important saving of primary fuel can be obtained by using combined heat and power (CHP) in greenhouses. Research has been done to analyse energetic and production effects for the cultivation of roses both with and without illumination. In case of supplementary lighting, the consequences were studied by using CHP in an on-site situation and parallel with the grid. The energetic effects of using combined heat and power at company and macro levels were studied in empirical research and by means of a simulation model. It appeared that the way in which CHP is applied, is decisive for the energy saving level. Using illumination and on-site CHP resulted in an energy saving of 17%, while 22% was reached by using the CHP engine as a primary heat source, with electricity being delivered to the grid. At company level CHP can lead to an increase in fuel consumption up to 70%. It also turned out that a sharp fall in the number of start and stops of the CHP engine can be reached by an adequate engine control.

Keywords: Combined heat and power, energy saving, start and stops CHP engine.

Voorwoord

In de Nederlandse glastuinbouw is een grote behoefte aan energie. Vooral voor de verwarming van kassen is veel energie nodig, maar het laatste decennium is de vraag naar elektriciteit eveneens sterk gestegen. Toepassing van assimilatiebelichting is de belangrijkste reden van de laatstgenoemde stijging. Beperking van het energieverbruik en een efficiënter gebruik zijn belangrijke doelstellingen in de Nederlandse glastuinbouw. Technieken die hieraan kunnen bijdragen worden dan ook met financiële middelen voor onderzoek ondersteund.

Eén van de speerpunten op het thema techniek ter verbetering van de efficiëntie van het energiegebruik is de inzet van warmtekrachtkoppeling (WKK). In de beginfase betrof WKK in de tuinbouw alleen bedrijven met een grote elektriciteitsvraag (in verband met assimilatiebelichting), zodat de installaties in eilandbedrijf werden gebruikt. Ten behoeve van deze bedrijven heeft het IMAG-DLO aandacht besteed aan energiebesparing die door toevoeging van een warmte-opslagtank aan het verwarmingssysteem kon worden gerealiseerd.

Mede door impulsen van Projectbureau Warmte/Kracht (PW/K), worden op dit moment veel WK-units geplaatst op bedrijven die alleen de warmte uit deze installaties gebruiken en de elektriciteit leveren aan het openbare elektriciteitsnet.

IMAG-DLO heeft op deze ontwikkeling ingespeeld door onderzoek te verrichten naar het energieverbruik en de elektriciteitsproductie van deze installaties. In een proefkas is jaar-rond onderzoek uitgevoerd naar energetische effecten bij toepassing van WKK in eiland- en parallelbedrijf met en zonder assimilatiebelichting. Aan genoemde effecten is zowel op bedrijfsniveau als landelijk aandacht geschonken. Naast dit onderzoek is met behulp van een simulatiemodel de invloed op het energieverbruik onderzocht bij gewijzigde bedrijfssituaties.

Het onderzoek is mogelijk gemaakt dankzij de door het Ministerie van Landbouw, Natuur-beheer en Visserij beschikbaar gestelde middelen. Een belangrijke financiële bijdrage werd verstrekt door de Nederlandse onderneming voor energie en milieu b.v. (Novem). De onderzoekresultaten geven inzicht in de energiebesparingsmogelijkheden bij verschillende inzet van een WK-installatie in de glastuinbouw.

Ir. A.A. Jongebreur
directeur

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	8
1.1 Probleemstelling	8
1.2 Achtergrond	8
2 Uitvoering onderzoek	10
2.1 Empirisch onderzoek	10
2.1.1 Proefaccommodatie	10
2.1.2 Gewas	11
2.1.3 Onderzoekvarianten	11
2.1.4 Regelstrategie en setpoints	12
2.2 Modelmatig onderzoek	16
3 Resultaten	17
3.1 Empirisch onderzoek	17
3.1.1 Produktie	17
3.1.2 Buitentemperatuur en straling	21
3.1.3 Belichting	22
3.1.4 Energie	23
3.1.4.1 Energiestromen	23
3.1.4.2 Bedrijfsuren WK-installatie	26
3.1.4.3 Bufferwerking	30
3.1.4.4 Brandstofverbruik op bedrijfsniveau	31
3.1.4.5 Macro-energiebesparing	34
3.2 Modelberekeningen	35
3.2.1 Energiebesparing door warmte-opslag	35
3.2.2 Relatie tussen CO ₂ -gift en draaiuren van de WK-installatie	37
3.2.3 Inzet buffer ter beperking van het aantal start/stops van de WK-installatie	38
3.2.4 Toepassing van een zomerstop	39
4 Discussie en aanbevelingen	40
5 Conclusies	42
Summary	44
Literatuur	46

Samenvatting

Met warmtekrachtkoppeling (WKK) wordt primaire energie efficiënter gebruikt, omdat het rendement van de conversie van aardgas naar de benutbare energievormen elektriciteit en warmte groot is. Indien de warmte bij warmtekrachtkoppeling volledig kan worden benut, wordt bij opwekking door een WK-installatie in plaats van door een ketel per geproduceerde joule warmte 0,74 joule aan primaire energie bespaard. Energiebedrijven zijn zeer actief in het uitbreiden van het aantal decentrale WK-installaties. De glastuinbouw is in principe een zeer geschikte sector om WKK toe te passen. IMAG-DLO heeft de potentiële besparingen op primaire energie onderzocht, die door WKK kunnen worden gerealiseerd. De conclusies zijn gebaseerd op empirische waarnemingen in een proefkas en op modelonderzoek. In de kas en in het model is gebruikgemaakt van kortdurende warmte-opslag.

Bij het empirisch onderzoek werden in de kas in vier afdelingen rozen geteeld. In drie afdelingen werd assimilatiebelichting toegepast en de andere afdeling was onbelicht. In geval van assimilatiebelichting werden energetische effecten nagegaan bij inzet van een WK-installatie in eiland- en parallelbedrijf. In de niet belichte afdeling werden deze effecten nagegaan indien de WK-installatie als primaire warmtebron fungeerde. In de kas werden jaarrond klimaat- en energiemetingen uitgevoerd en werd de rozenproductie geregistreerd.

In de belichte teelt werden op jaarbasis 7% meer stengels geoogst. Met het oog op deze geringe extra produktie zijn er twijfels gerezen over de bedrijfseconomische haalbaarheid van assimilatiebelichting.

Toepassing van WKK verhoogde het gasverbruik op bedrijfsniveau aanzienlijk. Bij inzet in een belichte teelt en WKK in eilandbedrijf werd 43% meer gas verbruikt. Indien de WK-installatie als primaire warmtebron werd ingezet, nam bij zowel de belichte als onbelichte teelt het gasverbruik met bijna 70% toe.

Gebleken is dat de macro-energie-effecten bij WKK zeer groot zijn. Empirisch onderzoek heeft aangetoond dat assimilatiebelichting en een WK-installatie in eilandbedrijf ongeveer 17% bespaart op primaire energie. In geval van belichting en een WK-installatie in parallelbedrijf bedroeg de besparing 22%. Dit besparingspercentage werd ook gerealiseerd bij inzet van de WK-installatie op warmtebehoefte en levering van de opgewekte elektriciteit aan het openbare net (niet belichte teelt).

Bij de belichte teelt met WKK in parallelbedrijf met het openbare net en bij de onbelichte teelt met WKK als primaire warmtebron werd ruim 200 kWh elektriciteit per m² per jaar geproduceerd. Het aantal bedrijfsuren van de WK-installatie met een geïnstalleerd thermisch vermogen van 66 W/m² bedroeg ruim 5000.

Het modelonderzoek richtte zich voornamelijk op het gedrag van de regelaar van de WK-installatie. Gebleken is dat verbetering van deze regeling het aantal start/stops van de WK-installatie sterk kan beperken. In het empirisch onderzoek bleek het aantal start/stops bij de niet belichte teelt ruim 2700 per jaar te bedragen (buffergrootte ± 200 m³/ha). Het model toonde aan dat, door verbetering van de regeling van de WK-installatie, het aantal start/stops van de WK-installatie, bij een buffergrootte van 60 m³/ha, op minder dan 1000 per jaar kan worden gebracht. Bij een grotere buffer (120 m³/ha)

vermindert het aantal start/stops zelfs tot ongeveer 650 per jaar.

Het model is tevens gebruikt om de verdringing van de warmte van de WK-installatie door CO₂-warmte te bestuderen. Gebleken is dat er een rechtevenredig verband bestaat tussen deze factoren. Vermindering van een eenheid CO₂-warmte leidde tot een toename van 0,84 eenheid warmte van de WK-unit.

Voor de assimilatiebelichting bij rozen en een WK-installatie in eilandbedrijf is met het model de economisch optimale bufferafmeting bepaald. Gebleken is dat bij de in het empirisch onderzoek geldende kasklimaatinstellingen en een gasprijs van 23 cent per m³ de optimale buffercapaciteit 47 m³/ha bedraagt. Deze buffer geeft een besparing van 5,7 m³ gas per m² per jaar. Na aftrek van de bufferkosten bedraagt het economische voordeel 70 cent per m² per jaar.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

In verband met de economische toepasbaarheid voor praktijkbedrijven is het wenselijk meer duidelijkheid te verkrijgen over de effecten op het energieverbruik bij bedrijven met en zonder assimilatiebelichting bij de inzet van WKK met levering van elektriciteit aan het openbare net. Daartoe heeft het IMAG-DLO jaarrond empirisch onderzoek uitgevoerd in een kas en zijn de genoemde aspecten modelmatig nader geanalyseerd. De doelstelling van het onderzoek was kwalitatief en kwantitatief inzicht te verschaffen in de effecten van WKK op de elektriciteitsproductie en het energieverbruik voor verschillende gebruiksvarianten.

In het modelonderzoek is zowel aandacht geschonken aan de relatie tussen CO₂-gift en het aantal draaiuren van de WK-installatie als aan de effecten op het aantal start/stops van de WK-installatie bij gewijzigde bufferregeling.

In hoofdstuk 2 is het uitgevoerde empirisch en modelmatige onderzoek beschreven. In hoofdstuk 3 zijn de produktieresultaten van het gewas, de bedrijfs- en macro-energetische effecten van de onderzoekvarianten in de kas en de resultaten van modelberekeningen weergegeven.

1.2 Achtergrond

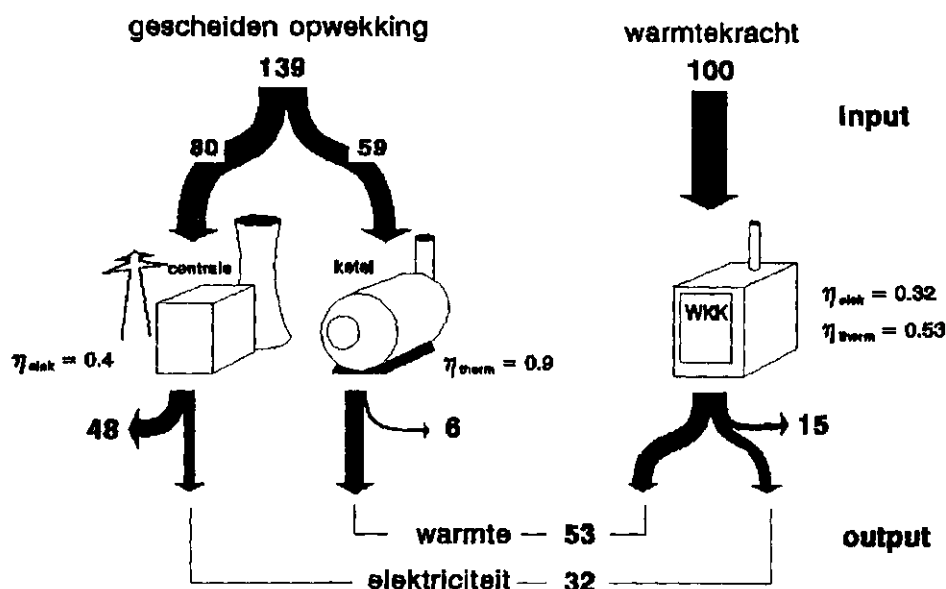
In de glastuinbouw is de belangstelling voor warmtekrachtkoppeling (WKK) de laatste jaren sterk toegenomen. Op ongeveer 10% van het totale glasareaal is een WK-installatie in gebruik (van Leeuwen, 1992). Een aantal jaren geleden was de toepassing beperkt tot bedrijven die ten gevolge van assimilatiebelichting een hoog elektriciteitsverbruik hadden. De WK-installatie had als hoofddoel het opwekken van elektriciteit. De warmteproductie was veelal secundair. In voorgaande onderzoeken heeft het IMAG-DLO zich geconcentreerd op een betere benutting van die warmte middels kortdurende warmteopslag (Huijs, 1992, de Zwart, 1994).

Tegenwoordig wordt op meer dan 40% van de bedrijven met een WK-installatie elektriciteit naar het openbare net gevoerd (Structuurenquête, 1993). Het betreft zowel bedrijven met als zonder assimilatiebelichting. Indien geen belichting wordt toegepast, gaat (vrijwel) alle opgewekte elektriciteit naar het net. In geval van assimilatiebelichting wordt de WK-installatie naast de perioden dat er wordt belicht, ingezet op warmtebehoefte. Het aantal bedrijfsuren van de installatie kan dan aanzienlijk worden verhoogd. Een nog efficiënter gebruik van WKK mag worden verwacht door de toepassing van gezuiverde rookgassen (Studies en diensten de Melker, 1993) en de verbetering van de regeling van WK-units.

De levering van decentraal opgewekte elektriciteit aan het openbare net heeft een energiebesparend effect voor elektriciteitscentrales. Inzet van WKK in de tuinbouw heeft energetische en economische consequenties op bedrijfsniveau en op nationaal niveau (macroniveau).

Energiebesparingspotentie WKK

Met een WK-installatie wordt zowel warmte als elektriciteit opgewekt. Ten opzichte van gescheiden opwekking (warmte met de ketel en elektriciteit door een centrale) kan een veel hoger nuttig rendement worden gerealiseerd, omdat bij gescheiden opwekking veel warmteverlies optreedt bij de elektriciteitscentrale. Dit is geschetst in figuur 1.1.



Figuur 1.1 Energiestromen bij conventionele elektriciteits- en warmte-opwekking (centrale en ketel) versus warmtekrachtkoppeling.

Figure 1.1 Energy flows of conventional production of electricity and heat (power plant and boiler) compared to cogeneration.

Uit figuur 1.1 kan worden afgeleid dat door inzet van een WK-installatie, bij nuttig gebruik van zowel warmte als elektriciteit, er op landelijk niveau (macro-energetisch) een maximaal haalbare energiebesparing mogelijk is van:

$$\frac{139 - 100}{139} = 28\%$$

Indien de warmte uit de WK-unit kan worden benut, levert elke kWh warmte uit deze installatie op macroniveau een besparing aan primaire energie van $(139 - 100)/53 = 0,74$ kWh. De landelijke elektriciteitsbehoefte is zo groot dat in principe alle in de tuinbouw met WK-installaties opgewekte elektriciteit nuttig kan worden besteed.

Uit de schets blijkt tevens dat het verbruik aan primaire energie bij het glastuinbouwbedrijf bij toepassing van WKK fors toeneemt (100 eenheden in plaats van 59). De energiebesparing wordt pas opgemerkt als de vermindering bij de centrale (80 eenheden) in de beschouwing wordt meegenomen. In de paragrafen 3.1.4.4 en 3.1.4.5 zijn de energie-effecten op bedrijfs- en macroniveau weergegeven voor de in het empirisch onderzoek opgenomen varianten.

2 Uitvoering onderzoek

De toepassing van WK-units op glastuinbouwbedrijven heeft een energiebesparingspotentie. Om deze te kwantificeren heeft het IMAG-DLO empirisch en modelmatig onderzoek verricht. Het empirisch onderzoek sluit aan bij een drietal toepassingsvormen van WKK, waarbij voor één van de vormen twee varianten in de aansturing van de WK-unit zijn opgenomen. In paragraaf 2.1 is uiteengezet hoe deze toepassingsvormen zijn gekozen. Het aantal is in het empirisch onderzoek beperkt.

Om een verruiming van het inzicht in de gebruiksmogelijkheden van WKK te verkrijgen is, naast het empirisch onderzoek, veel aandacht besteed aan modelberekeningen. Met het kasklimaatssimulatiemodel 'KASPRO' kan het gedrag en de prestatie van WKK in relatie tot tuinbouwkundige randvoorwaarden worden bestudeerd. In paragraaf 2.2 zijn de gebruiksmogelijkheden van het model uitgelegd en de wijze waarop het model in dit onderzoek is toegepast.

2.1 Empirisch onderzoek

Empirisch onderzoek werd uitgevoerd in de periode februari 1993 t/m januari 1994 in een kas van het IMAG-DLO. Jaarrond zijn continu metingen verricht betreffende het klimaat en de energiestromen en zijn gewasproductiegegevens verzameld.

De meetwaarden zijn verwerkt tot gemiddelde uurwaarden en toegankelijk gemaakt voor softwarematige verwerking.

2.1.1 Proefaccommodatie

Sinds begin 1992 beschikt het IMAG-DLO over een kassencomplex dat speciaal is ingericht voor onderzoek naar assimilatiebelichting, warmtekrachtkoppeling en kortdurende warmte-opslag. Deze accommodatie wordt aangeduid met 'Lichtkas'.

De proefaccommodatie bestaat uit een moderne Venlo-kas met vier afdelingen met elk drie kappen van 3,20 m. De afdelingen zijn 9,60 m breed. De kas is 20 m lang. De oppervlakte per proefcompartiment bedraagt 192 m². Het netto-teeltoppervlak is kleiner door het pad langs de korte zijde en beslaat 173 m². De kas heeft een goothoogte van 5 m en is uitgerust met 1 m breed enkelglas bedekking en Hortiplusglas in de onderste meter van de buitengevels. De kas is voorzien van een energiescherm onder het dek en gevelschermen langs de buitengevels.

De vier afdelingen zijn beplant met een rozengewas (Madelon) in een steenwolmat op roltabletten. Hieronder is een buisrailnet van druppelvormige pijp toegepast. Op ongeveer 2 m hoogte bevindt zich een bovennet (per afdeling acht pijpen met een diameter van 28 mm) dat gebruikt wordt indien de verwarmingscapaciteit van het ondernet onvoldoende is.

De bemesting en de vochtvoorziening van het gewas wordt verzorgd met druppelaars, waarbij het overtollige voedingswater wordt verzameld ten behoeve van recirculatie. Omdat de kas niet over een ontsmettingsinstallatie beschikt, wordt het drainwater in de

winterperiode niet gerecirculeerd.

De kas heeft een tegelvloer die besproeid kan worden indien de kaslucht te droog dreigt te worden.

Op 4,5 m boven het vloeroppervlak zijn SON-T Agro-lampen in SGR-armaturen van Philips opgehangen.

In de kas wordt zuivere CO₂ toegediend. Het klimaat in de kas wordt geregeld met een speciaal voor het IMAG-DLO ontwikkeld regelsysteem, dat vrij programmeerbaar is en in de huidige configuratie op dezelfde manier werkt als de in de tuinbouw gangbare klimaatregelaars.

2.1.2 Gewas

In de kas worden rozen - cultivar 'Madelon' op een 'Stur-du' onderstam - geteeld (plant-datum januari 1992), in steenwolmatten op dwarsgoten van 1,40 m lengte en een onderlinge afstand van 0,33 m. Per teeltafdeling (20 m lang en 9,60 m breed) zijn vijf verrobbare kweektafels met een lengte van 18 m en 1,40 m breed opgesteld. Per steenwolmat/dwarsgoot staan zes planten. Het aantal planten per afdeling bedraagt 1620. De plantdichtheid in het bed, de kas (exclusief hoofdpad) en de kas (bruto) bedraagt respectievelijk 12,9 en 9,4 en 8,4 per m². Ondanks het grote ruimteverlies tengevolge van relatief veel pad en open ruimte langs de zijwanden, komt - dankzij de intensieve inrichting van de kas - de plantdichtheid goed overeen met de in de praktijk gebruikelijke situatie. Ten behoeve van de teeltkundige aspecten is twee keer per maand een externe teeltbegeleidingsadviseur geraadpleegd.

Gewasregistratie

De registratie had betrekking op teelt- en produktiegegevens. Betreffende de teelt werden bemestings- en ziektenbestrijdingsgegevens vastgelegd. Produktiegegevens werden verkregen bij de dagelijkse oogst. Per afdeling werd het aantal geoogste stengels genoteerd en het totale oogstgewicht bepaald. Uit deze gegevens is het gemiddeld stengelgewicht berekend.

2.1.3 Onderzoekvarianten

De verschillen tussen de onderzoekvarianten waren gelegen in de toepassing van assimilatiebelichting, de bestemming van de opgewekte elektriciteit en de regeling van de WK-installatie.

Figuur 2.1 toont een schematische weergave van de kas waarbij een korte omschrijving van de onderzoekvarianten in de vier afdelingen is vermeld.

afd. 1	afd. 2	afd. 3	afd. 4
ass. belichting	ass. belichting	geen belichting	ass. belichting
WKK	WKK	WKK	WKK
elektriciteit: eilandbedrijf	elektriciteit: parallelbedrijf	elektriciteit: naar openbare net	elektriciteit: parallelbedrijf
warmte: - tijdens belichtingsuren	warmte: - tijdens belichtingsuren - daarnaast op warmtevraag	warmte: - primaire warmtebron	warmte: - tijdens belichtingsuren - daarnaast op warmtevraag - anticiperend buffergebruik

TECHNISCHE GANG

Figuur 2.1 Plattegrond met de onderzoekvarianten in de vier proefafdelingen.

Figure 2.1 Plan with the subjects of survey in the four research facilities.

Alle afdelingen konden beschikken over warmte uit een ketel, een (gesimuleerde) WK-installatie en een buffer voor opslag van warmte-overschotten van de WK-unit en de CO₂-bemesting.

De onderzoekvarianten zijn kort omschreven als volgt:

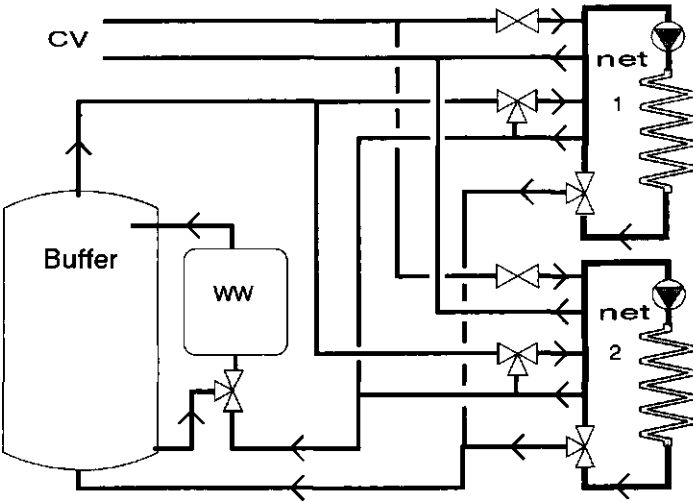
- afd. 1 In deze afdeling werd assimilatiebelichting toegepast. De (gesimuleerde) WK-installatie was in eilandbedrijf opgesteld d.w.z. alleen tijdens belichtingsuren leverde deze installatie warmte en elektriciteit.
- afd. 2 Ook in deze afdeling werd assimilatiebelichting toegepast. De WK-installatie was in bedrijf tijdens belichtingsuren en bij warmtevraag buiten de belichtingsuren. De buiten de belichtingsuren opgewekte elektriciteit werd naar het openbare net gevoerd.
- afd. 3 Deze afdeling werd niet belicht. De WK-installatie werd ingezet als primaire warmtebron. De geproduceerde elektriciteit werd aan het openbare net geleverd.
- afd. 4 In deze afdeling werd onderzoek uitgevoerd naar effecten bij gewijzigde regelstrategie van de WK-installatie (zie paragraaf 2.1.4 anticipatie-algoritme). De variant was verder identiek aan afdeling 2.

2.1.4 Regelstrategie en setpoints

De regelstrategieën die in dit onderzoek een specifieke rol speelden, worden afzonderlijk besproken.

Verwarmingssysteem

In figuur 2.2 is het hydraulisch schema van het verwarmingssysteem van de kas weergegeven.



Figuur 2.2 Hydraulisch schema van het verwarmingssysteem van de proefopstelling.
Figure 2.2 Scheme of the heating system of the research accommodation.

In het verwarmingssysteem heeft de warmtewisselaar (aangeduid met WW) een centrale plaats. Op dit punt komt de warmte vrij van de (gesimuleerde) WK-installatie en/of de (gesimuleerde) ketelwarmte in verband met CO₂-dosering. Als de warmtebehoefte van de kas groter of gelijk is aan de warmteproductie van de warmtewisselaar, dan stroomt het water vanuit de warmtewisselaar in, en direct weer uit de buffer. Zowel de warmte uit de warmtewisselaar als de warmte uit de buffer kan naar beide netten worden gevoerd.

De temperatuurregeling van het verwarmingsnet was als volgt :

Het ondernet (buisrail) fungeerde als primair net. Het bovennet leverde warmte als de aanvoertemperatuur van het water in het ondernet hoger was dan 50 °C.

In overleg met de externe teeltbegeleiding werd gekozen voor de volgende instellingen. In de periode februari t/m oktober werd bij de verwarming van de kas een minimumbuis-temperatuur aangehouden van 40 °C. Daarna werd deze gewijzigd in 50 °C overdag en 45 °C 's nachts. Bij globale straling groter dan 300 W/m² werd geen minimumbuis-temperatuur toegepast. In het traject 100 - 300 W/m² werd de minimumbuis-temperatuur lineair afgebouwd.

Belichting

In de afdelingen 1, 2 en 4 van de kas werd assimilatiebelichting toegepast. Voorafgaand aan de onderzoekperiode werden alle afdelingen belicht. Per afdeling waren 16 lampen

geïnstalleerd. Boven het hoofdpad was geen belichting aangebracht. De belichte oppervlakte per afdeling bedroeg 173 m^2 (oppervlakte teeltafdeling excl. hoofdpad).

Per $10,8 \text{ m}^2$ teeltoppervlakte was een lamp SON-T AGRO met SGR 140 K-armatuur geïnstalleerd. Deze lamp heeft een bruto opgenomen vermogen van 475 W. Het opgenomen elektrisch vermogen per m^2 bedroeg 44 W. Verondersteld is dat de reflectie van de wanden (scherm) 50 % bedroeg. De gemiddelde verlichtingssterkte bedroeg 3.368 lux per m^2 . Uitgaande van een conversiefactor van $2,5 \text{ W PAR/klux}$ bedroeg de belichtingsintensiteit $8,4 \text{ W PAR/m}^2$.

Het opgenomen elektrisch vermogen bedroeg $16 \times 475/192 = 39,58 \text{ W}_e/\text{m}^2$ per m^2 kasoppervlakte (incl. hoofdpad).

De belichtingsstrategie was als volgt:

- In de periode 25 april tot 9 augustus is niet belicht.
- 's Nachts werd een donkerperiode van 6 uur aangehouden. Deze donkerperiode was van 1 uur vóór tot 5 uur na zonsondergang.
- Overdag werd de belichting, buiten de eerder genoemde geblokkeerde uren, geregeld op basis van de gemeten globale straling buiten. Wanneer de globale straling groter was dan 80 W/m^2 werd de belichting gedoofd. Wanneer de straling geringer was dan 75 W/m^2 werd de belichting weer in werking gesteld. De minimale brandduur van de lampen bedroeg echter 20 minuten, terwijl de tijd tussen doven en opnieuw inschakelen minimaal 10 minuten was.

WK-installatie

Een WK-installatie was in de proefopstelling niet werkelijk aanwezig, doch door aanvoer van warmte met een warmtewisselaar en elektriciteit uit het openbare net werd de werking van de installatie gesimuleerd. Verondersteld werd een elektrisch en thermisch rendement van de WK-unit van resp. 0,32 (η_e) en 0,53 (η_{th}) op onderwaarde. Tijdens de bedrijfsuren van de WK-installatie werd met de warmtewisselaar $(0,53/0,32) \times 39,58 \times 192 = 12,6 \text{ kW}$ (656 kW/ha) warmte in de afdeling gevoerd. De benodigde elektriciteit $39,58 \times 192 = 7,6 \text{ kW}$ (396 kW/ha) werd uit het openbare net betrokken.

In perioden waarin de (gesimuleerde) WK-installatie de opgewekte elektriciteit naar het openbare net voerde, werd een minimum aaneengesloten bedrijfstijd van 1 uur aangehouden.

Warmte-opslag

Alle afdelingen beschikten over een warmtebuffer met een waterinhoud van 4 m^3 (ca. $200 \text{ m}^3/\text{ha}$). De opslagtank werd ingezet om tijdelijke warmte-overschotten op te slaan. De prioriteitsvolgorde van de ingezette warmtebronnen bij warmtevraag van de kas was verschillend. In afdeling 1 werd eerst de buffer geleegd en vervolgens sprong de ketel bij. In afdeling 2, 3 en 4 werd achtereenvolgens de buffer geleegd, de WK-installatie ingezet en daarna de ketel. In afdeling 4 werd de WK-unit soms al ingezet als de buffer nog niet leeg was om te anticiperen op toekomstige warmtevraag (zie ook onder *Anticipatie-algoritme*).

CO₂-bemesting

De CO₂-bemesting in de kas vond plaats met zuivere CO₂. Om beter te kunnen aansluiten op de praktijksituatie, waar CO₂-dosering meestal plaatsvindt met de rookgassen van de ketel, werd in dit onderzoek de bij de CO₂-dosering met ketelrookgassen vrijkomende warmte gesimuleerd. Om dit te realiseren, werd simultaan aan perioden dat in de kas zuivere CO₂ werd gegeven, aan de eerder genoemde warmtewisselaar 5,7 kW warmte toegevoerd. Dit vermogen komt overeen met een dosering met de ketel van ca. 30 m³ gas/ha · uur. Afhankelijk van de warmtevraag van de kas werd deze warmte naar de buffer of de kas gevoerd.

De CO₂-setpoints waren 340 ppm bij geopende en 900 ppm bij gesloten luchtramen. CO₂ werd gedoseerd in de dagperiode. In de belichte afdelingen werd op advies van de externe teeltbegeleiding ook tijdens belichtingsuren in de nacht CO₂ gegeven.

Temperatuur

Omdat de gewasontwikkeling in de belichte en onbelichte teelt verschillend was, werden in de afdelingen verschillende temperatuurssetpoints ingesteld. Deze waren in de belichte afdelingen overdag 19 °C en in de nacht 17 °C. Van eind mei tot half oktober was het setpoint voor de nacht 16 °C. De niet belichte afdeling had in de maanden februari en half oktober t/m januari een setpoint voor de dag van 18 °C en in de overige maanden 19 °C. Het setpoint voor de nacht bedroeg 16 °C. Alleen in de maanden maart t/m mei werd 's nachts 17 °C aangehouden.

De setpointinstelling was lichtafhankelijk geregeld. Tot een globale straling van 100 W/m² werd het setpoint niet verhoogd. Bij globale straling hoger dan 300 W/m² werd het setpoint met 2 °C verhoogd. In het stralingstraject 100 W/m² - 300 W/m² werd het setpoint evenredig verhoogd.

De ramen werden geopend bij een overschrijding van de kasluchttemperatuur met 1 °C boven het setpoint.

Schermen

Het energiescherm werd 's nachts in de afdelingen 1, 2 en 4 gesloten wanneer de buiten-temperatuur lager was dan 5 °C. In afdeling 3 werd het scherm gesloten bij een buiten-temperatuur lager dan 3 °C. Bij een relatieve luchtvochtigheid in de kas groter dan 75% werd een vochtkier aangehouden. Het scherm werd eveneens op een kier gezet bij een kasluchttemperatuur hoger dan 1 °C boven het setpoint.

Anticipatie-algoritme

De warmtevraag in een kas heeft een wisselend verloop. Overdag kunnen door schommelingen van de stralingsintensiteit grote fluctuaties ontstaan en vroeg in de ochtend treedt een grote piek op in verband met het opstoken van de kas. Omdat de WK-installatie een beperkte capaciteit heeft, moet de ketel tijdens pieken in de warmtevraag bijspringen. Indien echter de WK-unit een aantal uren voor de piekvraag wordt aangezet

- om een voorraad warmte in de buffer op te slaan - dan hoeft de ketel minder vaak bij te springen en wordt het aantal bedrijfsuren van de WK-installatie vergroot. Een probleem bij het aanleggen van deze warmwatervoorraad is dat de regelstrategie rekening moet houden met de toekomstige warmtevraag, die afhankelijk is van nog onbekende weersomstandigheden. In het onderzoek in de proefkas is als uitgangspunt gekozen dat de warmte- en CO₂-vraag de komende 24 uur gelijk zou zijn aan die van de afgelopen 24 uur. Met behulp van de meetgegevens van de afgelopen 24 uur werd de warmtebehoefte van de kas, verminderd met de CO₂-warmte, berekend. Veronderstellende dat dit behoeftepatroon ook de volgende 24 uur zou optreden, werd uitgerekend op welk moment de WK-unit moest worden ingeschakeld om ervoor te zorgen dat tijdens de piek in de warmtevraag de buffer voldoende gevuld was.

2.2 Modelmatig onderzoek

Het modelmatig onderzoek werd uitgevoerd met het door het IMAG-DLO ontwikkelde simulatiemodel KASPRO. In dit dynamisch simulatiemodel worden de essentiële fysische, gewasfysiologische en regeltechnische aspecten van een moderne tuinbouwkas beschreven. Het model rekent op minuut-basis energie- en massabalansen door en bepaalt daaruit het verloop van temperatuur, vochtgehalte en CO₂-concentraties in de tijd. Met het model kunnen de effecten bij toepassing van een energiescherm, assimilatiebelichting en een warmte-opslagfaciliteit worden berekend. Daardoor kan het model worden gebruikt om dezelfde processen te beschrijven die in de lichtkas plaatsvonden. In het kader van dit onderzoek is het model gebruikt om de effecten te bestuderen van de verandering van een tweetal uitgangspunten die aan het empirisch onderzoek ten grondslag lagen. In de eerste plaats is het effect bij een gewijzigde CO₂-doseringstrategie bestudeerd. In de praktijk is de CO₂-gift namelijk de belangrijkste reden voor het afschakelen van de WK-installatie gedurende de zomerperiode (de zogenaamde zomerstop (Oversloot, 1993)). Een tweede aandachtspunt waarvoor het model is toegepast, is het gebruik van de buffer om de effectiviteit van de regeling van de WK-installatie te verbeteren. Een groot aantal start/stops verhoogt immers de onderhoudskosten van de installatie. Bij deze analyse is ook aandacht geschonken aan de beïnvloeding door de buffergrootte.

3 Resultaten

De resultaten van het empirisch onderzoek betreffen de produktie, de belichting en de energie-effecten op bedrijfs- en macroniveau voor de gekozen proefvarianten. Met het kasklimaat simulatiemodel (KASPRO) zijn de energetische effecten van warmte-opslag, de relatie tussen CO₂-dosering en WK-draaiuren, de invloed van de regelstrategie ter beperking van het aantal start/stops en de effecten bij een zomerstop van de WK-installatie geanalyseerd.

De samengestelde jaaroverzichten hebben betrekking op de proefperiode van 1 februari 1993 tot 31 januari 1994. Deze periode besloeg precies 364 dagen, wat overeenkomt met 13 perioden van 4 weken.

3.1 Empirisch onderzoek

3.1.1 Produktie

Gewasontwikkeling

Het gewas is goed gezond gebleven, mede dankzij tijdige ziektenbestrijding. Meeldauw, een bij de cultivar Madelon vaak optredende en gevreesde ziekte, kon effectief worden bestreden door een consequente toepassing van zwavelverdamping gedurende een aantal uren van de nacht. Hoewel geen ontsmetting van het voedingswater heeft plaatsgevonden, werden er geen ziekteverschijnselen geconstateerd. Het voedingswater werd desondanks regelmatig verversd.

Het snee-effect had een veel minder grillig verloop dan het eerste produktiejaar, waardoor een rustiger arbeidspatroon ontstond.

Bij excursies werden vanuit de praktijk (o.a. NTS gewasgroep rozen Zuid-Holland) positieve reacties ontvangen betreffende stand van het gewas.

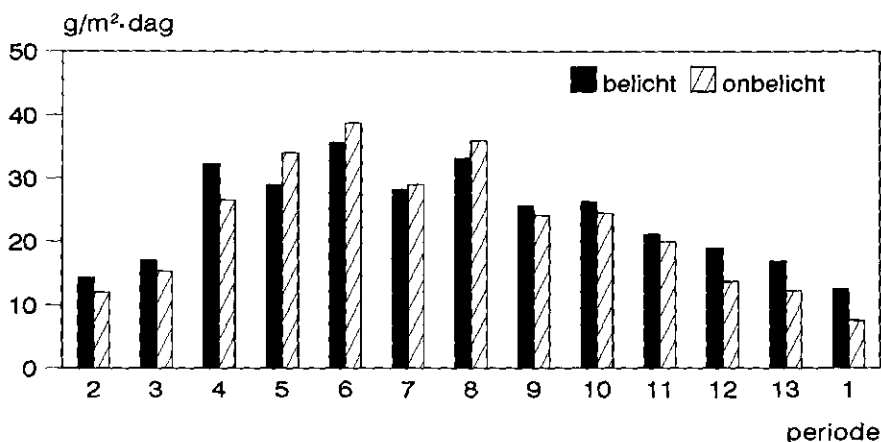
Samenvattend kan worden opgemerkt dat vrijwel geen teeltcomplicaties zijn opgetreden en dat de proef dankzij de aandacht van het verzorgend personeel en de adviezen van de externe teeltbegeleider teeltkundig goed is verlopen.

Geoogste rozen

De produktiegegevens zijn samengesteld aan de hand van de dagelijkse oogstgegevens. Per afdeling werd het aantal geoogste stengels geteld en het totale gewicht bepaald. Aan de hand van de verzamelde gegevens werd het gemiddeld stengelgewicht berekend. Bij de gegevensverwerking bleek dat de produktieresultaten van de drie belichte afdelingen zeer geringe onderlinge verschillen vertoonden. Om de overzichtelijkheid van de oogstgegevens te bevorderen, is daarom uitgegaan van de gemiddelde produktie in de belichte afdelingen. De produktieresultaten van de belichte teelten zijn vergeleken met die in de onbelichte afdeling 3.

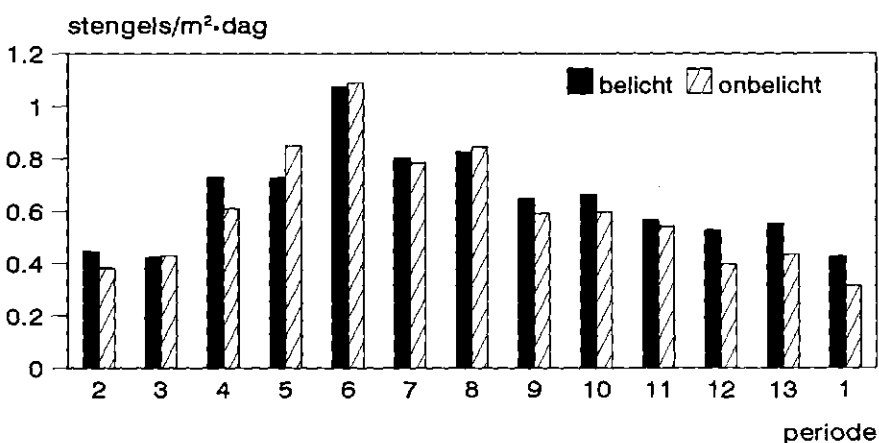
Figuur 3.1 toont het jaarrond aantal geoogste stengels bij de belichte en de onbelichte teelt.

De stengelproduktie was in de zomer 2 tot 4 maal groter dan in de winter. De verschillen tussen zomer- en winterproduktie waren voor de onbelichte teelt groter dan voor de belichte. In de perioden 9 t/m 2 was het aantal stengels in de belichte afdelingen groter dan in de onbelichte. In de zomer was het aantal stengels voor beide teeltwijzen vrijwel gelijk. Het is mogelijk dat de produktie in de onbelichte afdeling in de eerste perioden is beïnvloed door de belichting die voorafgaand aan de proefperiode werd gegeven.



Figuur 3.1 Aantal geoogste stengels bij de belichte en onbelichte teelt.

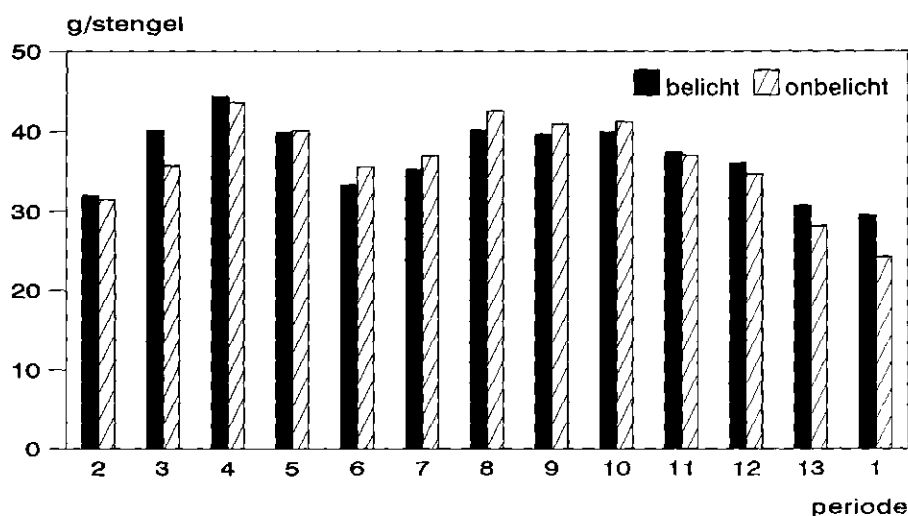
Figure 3.1 Number of harvested stems for the lighted and unlighted crop.



Figuur 3.2 Gewicht geoogste stengels belichte en onbelichte rozen.

Figure 3.2 Weight of harvested stems of lighted and unlighted roses.

In figuur 3.2 is het gewicht van de geoogste rozen weergegeven. Het geoogst gewicht was in de zomer groter dan in de winter. Tussen belicht en onbelicht traden ook grote verschillen op. Het geoogst gewicht in de belichte afdelingen was meestal groter dan in de onbelichte. In de perioden 5 t/m 8 werd echter in de onbelichte teelt meer geoogst. Het totale stengelgewicht per periode vertoonde grote verschillen. Zowel bij de belichte als de onbelichte teelt bleek periode 6 de produktiefste en periode 1 de slechtste te zijn. Het geoogst gewicht in periode 1 bedroeg voor de belichte en de onbelichte teelt respectievelijk 35% en 20% van dat in periode 6.



Figuur 3.3 Gemiddeld stengelgewicht van de belichte en onbelichte rozen.

Figure 3.3 Average stem weight of the lighted and unlighted roses.

Het gemiddeld stengelgewicht gaf over het jaar grote verschillen te zien (figuur 3.3). Opvallend was dat het gemiddeld stengelgewicht op jaarbasis voor de belichte en de onbelichte teelt vrijwel gelijk waren. Het gemiddeld stengelgewicht was het hoogste in het voorjaar en de nazomer. De onbelichte afdeling had in de perioden 5 t/m 10 een hoger gemiddeld stengelgewicht dan de belichte teelt. In de overige perioden was het stengelgewicht in de belichte afdelingen hoger. Voor zowel de belichte als de onbelichte teelt werden in periode 4 de zwaarste en in periode 1 de lichtste stengels geoogst. In de belichte teelt varieerde het gemiddeld stengelgewicht van 29,6 g in periode 1 tot 44,3 g in periode 4. Bij de onbelichte teelt waren de gemiddelde stengelgewichten in de genoemde perioden respectievelijk 24,2 g en 43,6 g.

In tabel 3.1 zijn de produktiegegevens per maand op een rijtje gezet. Uit de tabel blijkt dat de verschillen in de totale produktie tussen belicht en onbelicht vrij gering waren. Het aantal stengels was jaarrond in de belichte afdeling 15,3 per m² (7%) hoger dan in de onbelichte. Ook het totale oogstgewicht was slechts 495 g/m² (6%) hoger. Het hogere stengelgewicht van de onbelichte teelt in de zomer compenseerde de lichtere stengels in de winter zodanig dat het jaarrond gemiddeld stengelgewicht voor beide teelten vrijwel gelijk was.

Als kanttekening bij de produktieresultaten is het belangrijk te vermelden dat het

temperatuursetpoint in de onbelichte afdeling gemiddeld lager was dan in de belichte afdeling (zie paragraaf 2.2.4). Een ander aspect is dat in de onbelichte afdeling voorafgaand aan de onderzoeksperiode wel assimilatiebelichting werd toegepast. Het is waarschijnlijk dat de produktie in de onbelichte teelt in het begin van de proefperiode daarvoor positief werd beïnvloed.

Uitgaande van veilingprijzen (Kwantitatieve informatie, 1993-1994) bedroeg de geldelijke jaaropbrengst voor de belichte en onbelichte teelt resp. f 119,70 en f 109,90 per m². Hierbij is geen rekening gehouden met hogere prijzen die in de winter voor de kwalitatief betere, belichte rozen worden ontvangen.

De kosten voor assimilatiebelichting zijn o.a. afhankelijk van belichtingsintensiteit, eigen opwekking elektriciteit of inkoop van het net en de elektriciteitsstarieven en bedragen f 25,- tot f 30,- per m² per jaar (Kwantitatieve informatie, 1993-1994).

De meeropbrengst door assimilatiebelichting, zoals die in dit onderzoek naar voren kwam, was dan ook onvoldoende om de extra kosten van de belichting te compenseren.

Tabel 3.1 Produktie rozen (periode febr.'93 t/m jan.'94).

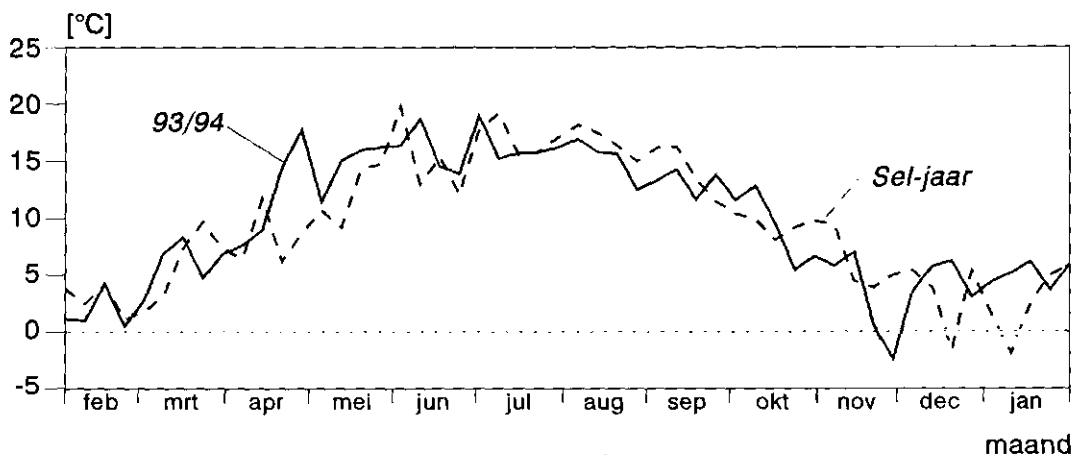
Table 3.1 Production of roses (period feb.'93 up to and including jan.'94).

periode	aantal stengels			gewicht			gem. stengelgewicht		
	belicht	onbelicht	onbelicht t.o.v. belicht	belicht	onbelicht	onbelicht t.o.v. belicht	belicht	onbelicht	onbelicht t.o.v. belicht
	per m ²	per m ²	%	g/m ²	g/m ²	%	g	g	%
2	12,5	10,7	86	400	336	84	32,0	31,5	98
3	11,9	12,0	101	476	428	90	40,1	35,7	89
4	20,4	17,0	83	905	743	82	44,3	43,6	98
5	20,3	23,8	117	811	954	118	40,0	40,1	101
6	30,1	30,5	101	1001	1085	108	33,3	35,6	107
7	22,4	22,0	98	790	811	103	35,2	37,0	105
8	23,0	23,6	103	928	1006	108	40,2	42,6	106
9	18,1	16,6	92	719	676	94	39,7	40,9	103
10	18,5	16,7	90	737	685	93	39,9	41,2	103
11	15,8	14,9	94	592	559	94	37,4	37,0	99
12	14,8	11,0	74	529	383	72	36,1	34,7	96
13	15,5	12,1	78	474	341	72	30,7	28,1	92
1	11,9	8,8	74	353	212	60	29,6	24,2	82
totaal	235,2	219,7	93	8.715	8.220	94	37,1	37,4	101

3.1.2 Buitentemperatuur en straling

Om inzicht te verkrijgen in hoeverre het weer in de onderzoeksperiode overeenkwam met een normaal jaar, zijn de meetwaarden vergeleken met het Sel-jaar¹.

De gemeten buitentemperatuur en straling zijn verwerkt tot gemiddelden per week.



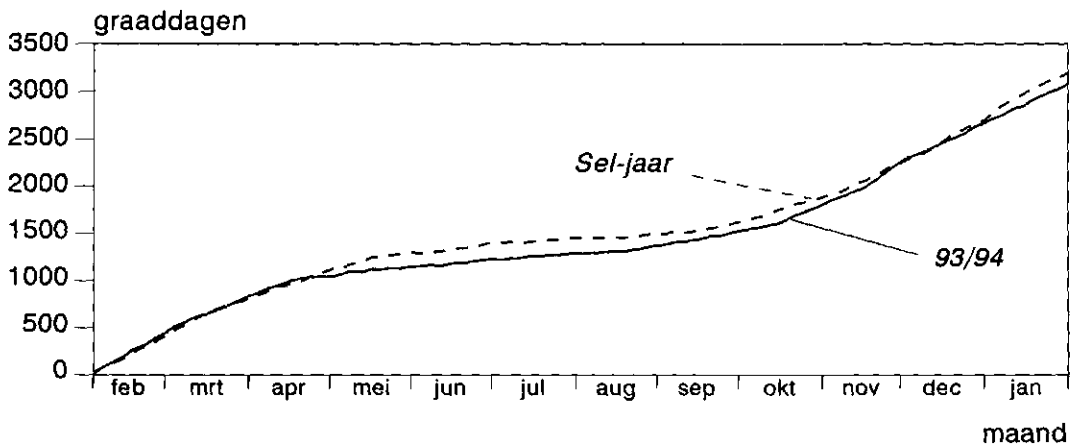
Figuur 3.4 Gemiddelde buitentemperatuur per week in de proefperiode en Sel-jaar.

Figure 3.4 Average outside airtemperature per week during the research period and Sel-year.

Uit figuur 3.4 blijkt dat het verloop van de buitentemperatuur in de proefperiode en het Sel-jaar vrij goed overeenkomen. Grotere afwijkingen traden op in het voorjaar van 1993 met een beduidend hogere en in de tweede helft van november met een aanzienlijk lagere temperatuur dan in het Sel-jaar. Gedurende de gehele proefperiode bedroeg de gemiddelde buitentemperatuur 9,7 °C. De gemiddelde buitentemperatuur in het Sel-jaar bedraagt 9,4 °C.

Figuur 3.5 toont dat het totale aantal graaddagen voor de proefperiode en het Sel-jaar slechts weinig verschilt. Het hogere aantal graaddagen in het Sel-jaar kwam vooral tot stand in het voorjaar en aan het eind van de proefperiode.

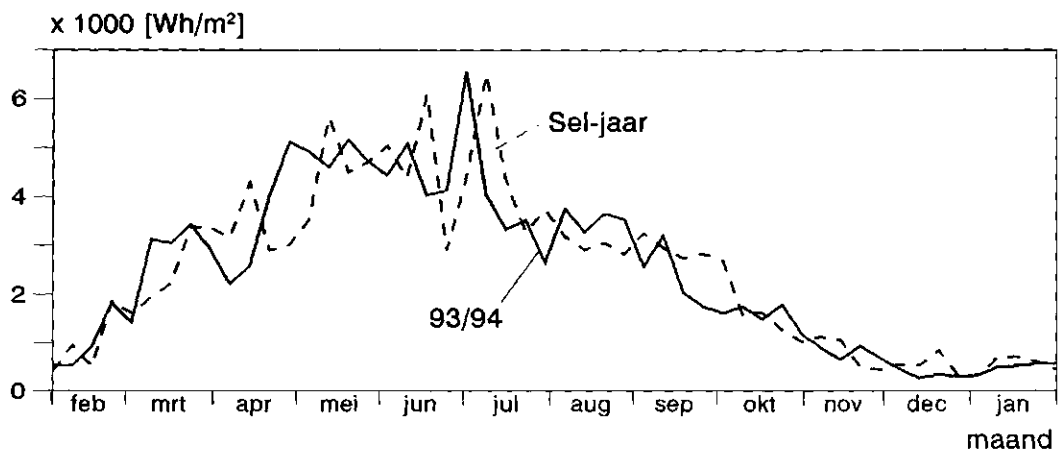
¹ Sel-jaar is een gegevensbestand dat uurlijkse waarden van weergegevens van een heel jaar bevat en is samengesteld uit historische weergegevens. Het Sel-jaar is door het Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek op het gebied van gebouwinstallaties (ISSO) in samenwerking met het IMAG-DLO ontwikkeld om te voorzien in de behoefte aan een eenduidig uitgangspunt voor ontwerp- en simulatieberekeningen (Breuer, 1991).



Figuur 3.5 Cumulatief aantal graaddagen over de proefperiode.

Figure 3.5 Cumulation of the number of degree-days in the time-span of the research.

In figuur 3.6 is de gemiddelde globale straling in de proefperiode en het Sel-jaar weergegeven. De verschillen waren over het algemeen niet erg groot, doch in de maanden maart en augustus was het zonniger en in de maanden juli en december was het somberder dan in het Sel-jaar.

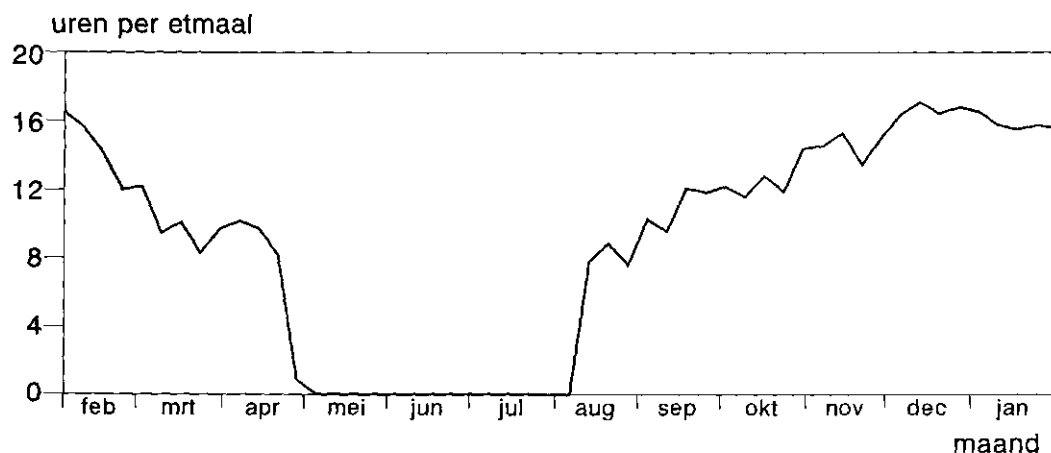


Figuur 3.6 Dagsom straling in de proefperiode en het Sel-jaar.

Figure 3.6 Sum of the daily radiation in the research period and the Sel-year.

3.1.3 Belichting

In § 2.1.4 is de belichtingsstrategie voor de afdelingen 1, 2 en 4 beschreven. In de proefperiode leidde dit tot de volgende belichtingstijden.



Figuur 3.7 Gemiddeld aantal belichtingsuren per etmaal.
Figure 3.7 Average number of lighting hours per 24 hours period.

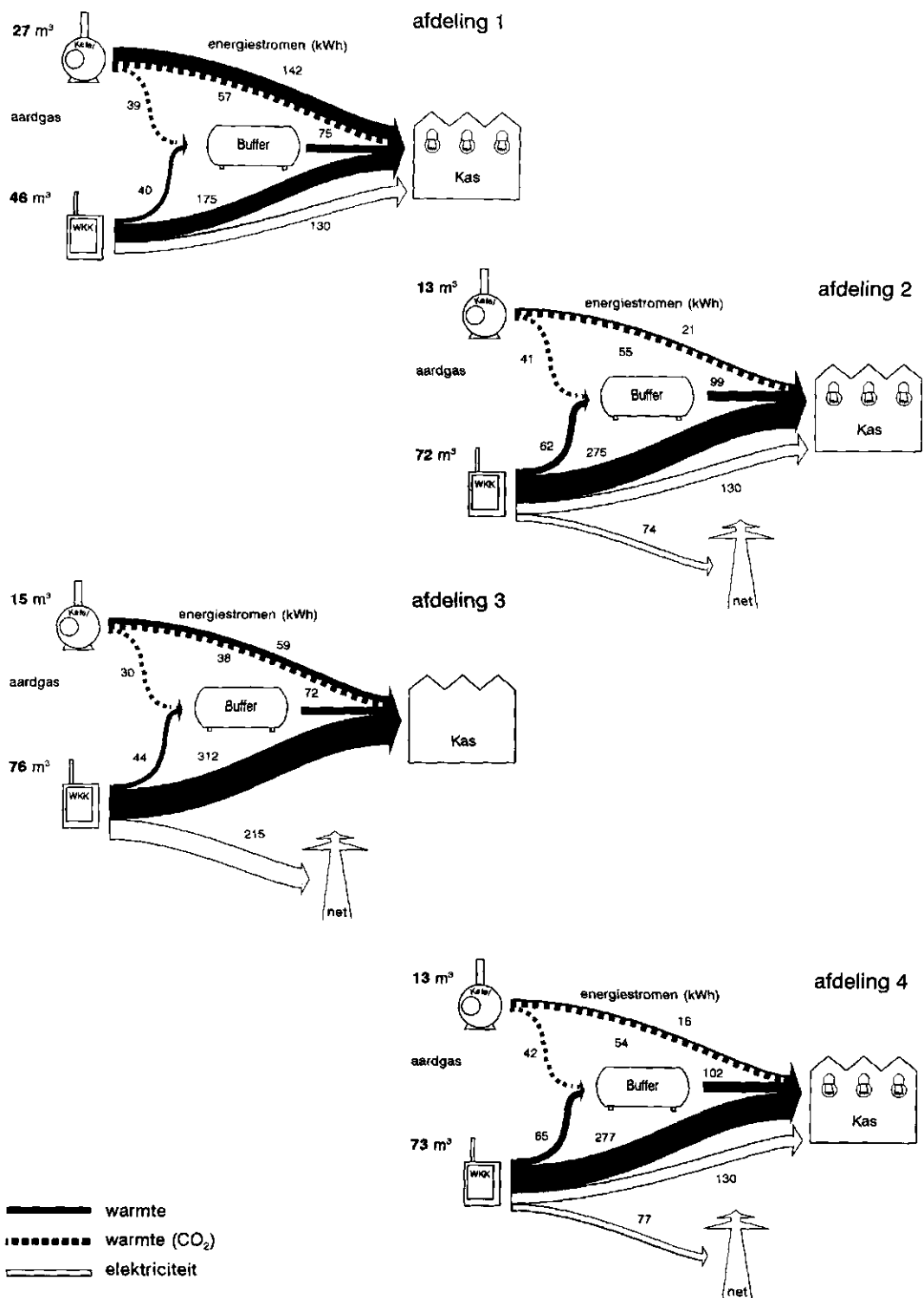
Figuur 3.7 toont het gemiddeld aantal belichtingsuren per etmaal gedurende de proefperiode. In de periode van 26 april tot 9 augustus werd niet belicht. Tijdens de belichtingsperiode werd in de maanden maart, april en augustus t/m oktober gemiddeld ongeveer 10 uur per etmaal belicht. In de maanden februari en november t/m januari werd gemiddeld ongeveer 15 uur per etmaal belicht. Het totaal aantal belichtingsuren gedurende de onderzoeksperiode bedroeg 3259.

3.1.4 Energie

Als gevolg van de in de proefopzet gekozen bedrijfsuitrusting en setpointinstellingen was het energieverbruik in de afdelingen verschillend (zie § 2.1.1 onderzoekvarianten en § 2.1.4 klimaatsetpoints). In dit hoofdstuk zijn de energie-effecten weergegeven en zijn de accenten gelegd op de omvang van het energieverbruik en de verschillen tussen de vier afdelingen. Achtereenvolgens is aandacht geschonken aan de energiestromen, de gebruiksintensiteit van de WK-installatie, de energiebesparing met de buffer, de effecten op het brandstofverbruik op bedrijfsniveau en de macro-energetische energiebesparing.

3.1.4.1 Energiestromen

In figuur 3.8 en tabel 3.2 zijn het gasverbruik en de jaarrond-energiestromen voor de vier proefafdelingen weergegeven. In deze paragraaf zijn de onderlinge verschillen tussen de afdelingen in hoofdlijnen beschreven. Verderop in dit hoofdstuk is meer in detail aandacht geschonken aan de consequenties van deze verschillen.



Figuur 3.8 Schematisch overzicht van het gasverbruik en de energiestromen in de vier afdelingen.
Figure 3.8 Schematic view of gas consumption and energy fluxes in the four compartments.

Tabel 3.2 Jaarrond energiestromen in de vier afdelingen.
Table 3.2 Yearround energy fluxes in the four compartments.

energie	afd. 1		afd. 2		afd. 3		afd. 4	
	kWh/m ²	%	kWh/m ²	%	kWh/m ²	%	kWh/m ²	%
warmte								
ketelwarmte	142	(31)	21	(5)	59	(12)	16	(4)
ketel CO ₂	96	(22)	96	(21)	68	(14)	96	(21)
buffer	75	(17)	99	(22)	72	(15)	102	(23)
WKK	215	(47)	337	(74)	356	(74)	342	(75)
totaal	453	(100)	454	(100)	483	(100)	454	(100)
elektriciteit								
lampen	130	(100)	130	(64)	-	-	130	(63)
openbare net	-	-	74	(36)	215	(100)	77	(37)
totaal	130	(100)	204	(100)	215	(100)	207	(100)

Buffer

De regel 'buffer' in tabel 3.2 vereist nadere uitleg. Het principiële verschil tussen de buffer en de andere warmtebronnen is dat de buffer wel warmte levert maar niet produceert. Voor de totaal telling van warmtestromen en percentages moet de regel 'buffer' dan ook niet worden meegenomen. In de tabel zijn de aan de buffer onttrokken hoeveelheden warmte vermeld (bufferverliezen zijn niet opgenomen). De resultaten in energieverbruik tussen de afdelingen 2 en 4 vertoonden slechts geringe verschillen. Het feit dat anticiperend buffergebruik (afd. 4) vrijwel geen voordeel opleverde in de proefsituatie is waarschijnlijk toe te schrijven aan de eisen die de belichting stelde en het vrij grote vermogen van de WK-installatie. Door het grote vermogen van de WK-unit kwam het niet zo vaak voor dat het incidenteel vermogen dat de kas vroeg veel groter was dan het vermogen dat de WK-installatie kon leveren. De belichting maskeerde het effect van het anticipatie-algoritme, omdat juist in de koude periode van het jaar voorafgaand aan de periode met een grote warmtevraag (de opstook in de ochtend) de WK-installatie al een aantal uren in werking was ten behoeve van assimilatiebelichting.

De onderzoekresultaten van beide afdelingen zijn in de tabellen en grafieken wel afzonderlijk weergegeven, doch zullen bij de toelichting meestal niet apart aan de orde komen. Beide bedrijfssituaties worden dan aangeduid met 'belichting en WKK in parallelbedrijf'.

Warmte

De totale warmtetoevoer met de ketel en de WK-installatie bleek, ondanks het lager ingestelde temperatuurssetpoint in de winter, in de onbelichte afdeling 7% groter te zijn dan in de belichte afdelingen ($483 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{jaar}$ t.o.v. $453 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{jaar}$). Hieruit blijkt

dat de warmtebehoefte in de belichte afdelingen voor een deel wordt gedekt door de lampwarmte.

Het aandeel van de ketel en de WKK in de totale warmte-opwekking vertoonde grote verschillen. Bij opstelling van de WK-unit in eilandbedrijf (afd. 1) was de warmtebijdrage door de WK-installatie 47% van het totaal, terwijl bij inzet in parallelbedrijf het aandeel steeg naar ongeveer 75% (afd. 2, 3 en 4). De ketel hoefde daardoor in de afdelingen 2, 3 en 4 veel minder in bedrijf te komen dan in afdeling 1. In de afdelingen 2 en 4 was de bijdrage door de ketel om aan de directe warmtevraag te voldoen respectievelijk slechts 5 en 4%. Doordat bij de belichte teelt tijdens belichtingsuren CO_2 -bemesting werd toegepast, was de warmteproductie door de ketel (CO_2) in deze afdelingen hoger dan in de onbelichte.

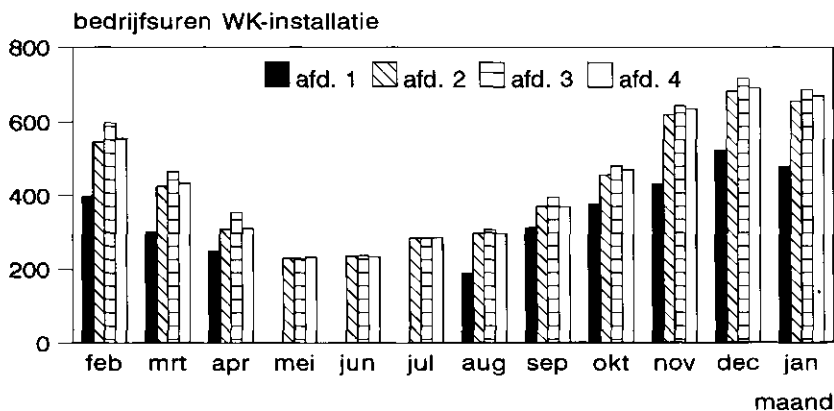
De tijdelijke warmte-opslag met de buffer was in de belichte afdelingen en WKK in parallelbedrijf (afd. 2 en 4) met resp. 22% en 23% van de totale warmte-opwekking duidelijk hoger dan bij WKK in eilandbedrijf (17%) en de onbelichte teelt (15%).

Elektriciteit

In de onbelichte afdeling (afd. 3) werd met $215 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{jaar}$ ruim 65% meer elektriciteit geproduceerd dan bij belichting en WKK in eilandbedrijf (afd. 1). Alle in afdeling 3 opgewekte elektriciteit was bestemd voor het openbare net. In de afdelingen 2 en 4 kon naast de voor belichting benodigde $130 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{jaar}$ nog resp. 74 en 77 $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{jaar}$ naar het openbare net worden gevoerd.

3.1.4.2 Bedrijfsuren WK-installatie

In § 3.1.4.1 is reeds opgemerkt dat de omvang van warmte- en elektriciteitsopwekking door de WK-installatie ten gevolge van de gekozen regelstrategie grote verschillen vertoonde. In figuur 3.9 en tabel 3.3 is het aantal bedrijfsuren van de WK-unit gedurende het jaar voor de verschillende afdelingen weergegeven.



Figuur 3.9 Bedrijfsuren van de WK-installatie per maand.

Figure 3.9 Monthly hours of use of the CHP unit.

Uit tabel 3.3 blijkt dat het aantal draaiuren bij assimilatiebelichting en een WK-installatie in eilandbedrijf (afd. 1) ruim 3250 per jaar bedroeg. Bij inzet van de WK-unit parallel aan het openbare net werd het aantal bedrijfsuren per jaar meer dan 5100 (afd. 2 en 4). Als decentrale elektriciteitsopwekker in een onbelichte teelt waren de bedrijfsuren van de WK-installatie zelfs bijna 5400 (afd. 3).

Over de verdeling van het aantal bedrijfsuren kan het volgende worden opgemerkt. Bij WKK in eilandbedrijf liepen de bedrijfsuren van de WK-installatie en de belichtingsuren uiteraard precies met elkaar in de pas. In de maanden september t/m maart werd de WK-unit maandelijks meer dan 300 uur ingezet, terwijl deze in de maanden mei t/m juli niet in gebruik was.

Het aantal bedrijfsuren van de WK-unit in de afdelingen 2 en 4 was vrijwel gelijk. In paragraaf 3.1.4.1 is een verklaring gegeven voor de geringe verschillen.

Het aantal extra bedrijfsuren bij parallelbedrijf (afd. 2 en 4) en decentrale elektriciteitsopwekking (afd. 3) bedroeg zowel in de zomer als winter ongeveer 1000 uur t.o.v. de toepassing in eilandbedrijf (afd. 1). Bij deze bedrijfssituaties was de WK-installatie in de maanden november t/m januari meer dan 85% van de tijd in bedrijf.

Tabel 3.3 Maandelijks aantal bedrijfsuren WK-installatie in de vier afdelingen.

Table 3.3 Monthly hours of use of the CHP unit in the four compartments.

maand	afd. 1		afd. 2		afd. 3		afd. 4	
	uren	%	uren	%	uren	%	uren	%
februari	397	12	545	11	597	11	555	11
maart	302	9	425	8	465	9	433	8
april	249	8	309	6	354	7	310	6
mei	-	-	229	4	229	4	232	4
juni	-	-	236	5	236	4	234	5
juli	-	-	285	6	284	5	285	6
augustus	188	6	297	6	307	6	297	6
september	313	10	370	7	395	7	369	7
oktober	377	11	456	9	481	9	470	9
november	431	13	619	12	644	12	636	12
december	523	16	682	13	717	13	690	13
januari	479	15	657	13	688	13	670	13
totaal	3259	100	5110	100	5397	100	5181	100

Naast de totale bedrijfstijd van de WK-installatie in een jaar is ook het aantal start/stops belangrijk. Toename van het aantal start/stops heeft een negatief effect op de technische levensduur en verhoogt de onderhoudskosten van de installatie. In tabel 3.4 en figuur 3.10 zijn het aantal en de frequentieverdeling van de start/stops van de WK-installatie voor de vier afdelingen weergegeven.

Tabel 3.4 Aantal start/stops en draaiuren per start/stop van de WK-installatie in de vier afdelingen.
Table 3.4 Number of start/stops and hours of use per start/stop of the CHP unit in the four compartments.

	afd. 1	afd. 2	afd. 3	afd. 4
aantal start/stops	364	1546	2720	1429
bedrijfsuren per jaar	3259	5110	5397	5181
draaiuren per start/stop				
- minimaal	0,5	0,5	1,0	0,5
- maximaal	18,1	71,9	68,6	211,0
- gemiddeld	8,9	3,3	2,0	3,6

Tabel 3.4 geeft aan dat het aantal start/stops van de WK-installatie grote verschillen vertoonde tussen de vier afdelingen. Het aantal start/stops was duidelijk het laagste bij WKK in eilandbedrijf met assimilatiebelichting (afd. 1). Doordat de installatie in deze afdeling in de zomer - geringe warmtevraag met grote schommelingen - niet in bedrijf was, werd een gemiddeld grotere aaneengesloten draaitijd gerealiseerd dan in de andere afdelingen.

Bij assimilatiebelichting en WKK parallel aan het openbare net werden ongeveer 1500 start/stops geregistreerd. Decentrale elektriciteitsopwekking met WKK bij onbelichte teelt leverde zelfs meer dan 2700 start/stops op. Het aantal start/stops bij de belichte teelten was lager, omdat de WK-installatie gedurende de belichtingsperioden in deze afdelingen continu in bedrijf was. Bij de onbelichte teelt werd de WK-unit, onder invloed van een fluctuerende warmtevraag, gedurende de genoemde periode soms enkele malen in bedrijf gezet.

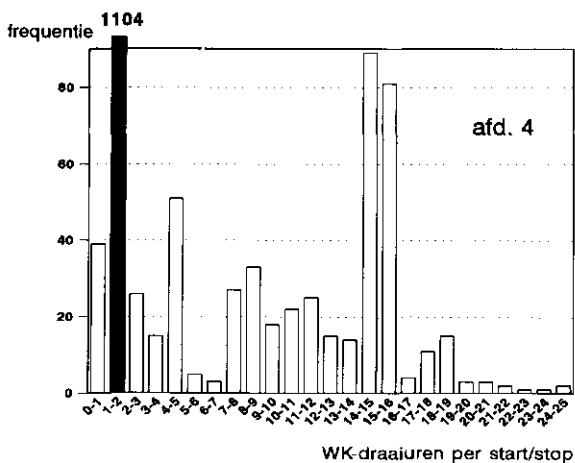
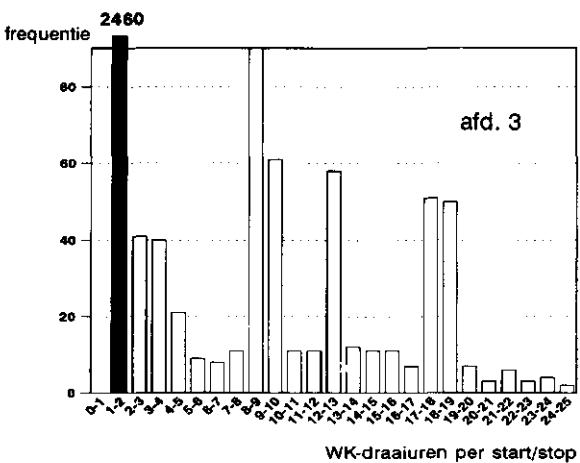
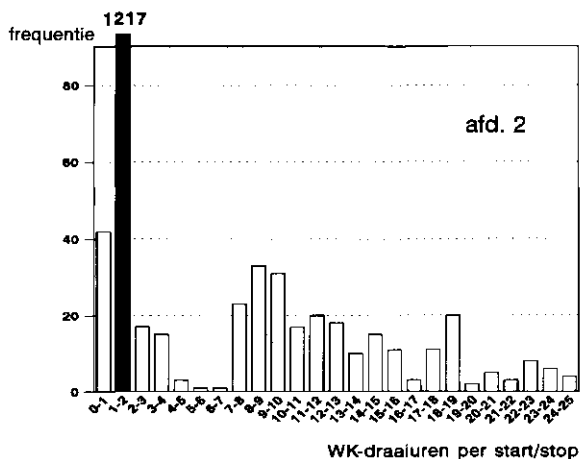
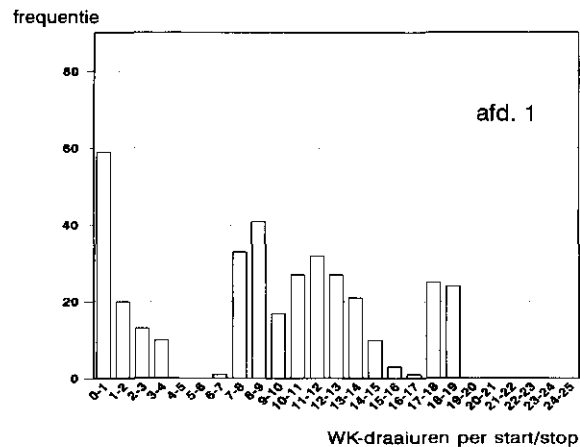
De frequentieverdeling in figuur 3.10 toont ook grote verschillen tussen de afdelingen. De gekozen instellingen van de WK-installatie bleken grote invloed te hebben op de bedrijfstijd. In de afdelingen met assimilatiebelichting was de WK-unit in bedrijf tijdens de belichtingsuren (afd. 1, 2 en 4). De minimale belichtingsduur was 30 minuten. Bij de onbelichte teelt was de WK-installatie minimaal 1 uur aaneengesloten in bedrijf, als er warmtevraag was en de buffer leeg.

Bij afdeling 1 toont de frequentieverdeling drie groepen nl.:

- Bedrijfstijd 0 - 4 uur (WK-unit volgde de lampen aan-uit situatie gedurende de dag).
- Bedrijfstijd 7 - 16 uur (WK-installatie in bedrijf tijdens belichting in de nacht en gedeelte van de dag).
- Bedrijfstijd 17 - 19 uur (het weer was zo somber dat de lampen overdag aan bleven).

De maximale bedrijfstijd van de WK-installatie was ± 18 uur, omdat een donkerperiode van 6 uur per etmaal was ingesteld.

Omdat bij het empirisch onderzoek beperking van het aantal start/stops geen criterium was bij het ontwerp van de WK-regeling, is het aantal inschakelingen in de afdelingen 2 t/m 4 erg hoog. Hierdoor had de draaitijd van 1 - 2 uur verreweg de hoogste frequentie (meer dan 75%). Het kwam in de winterperiode echter ook regelmatig voor dat de aaneengesloten bedrijfstijd meerdere etmalen bedroeg (in figuur 3.10 is de frequentie tot 25 uur draaitijd weergegeven). In de afdelingen 2, 3 en 4 was de aaneengesloten bedrijfstijd van de WK-installatie respectievelijk 11, 12 en 21 keer langer dan een etmaal. De grootste aangesloten bedrijfstijd was 211 uur en trad omstreeks 1 december 1993 op in afdeling 4. In paragraaf 3.2 wordt nader ingegaan op de relatie tussen de WK-regeling en het effect op draaiuren en start/stops van de installatie.



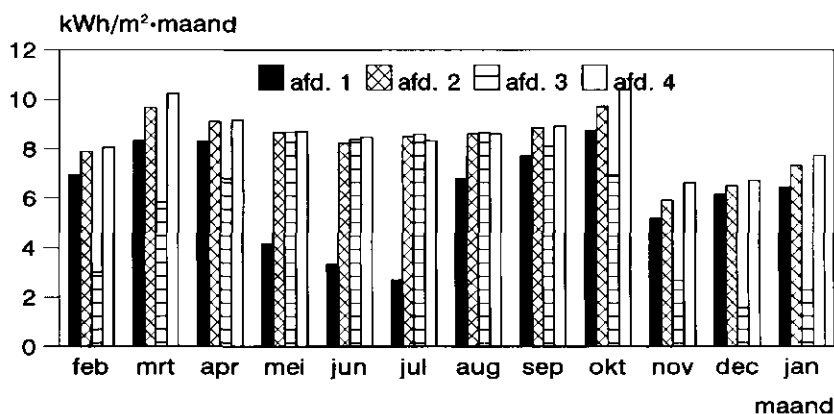
Figuur 3.10 Frequentieverdeling van de WK-draaiuren per start/stop (pieken in zwart niet op schaal getekend).

Figure 3.10 Frequency of the running hours of the CHP unit per start/stop (peaks in black not depicted on scale).

3.1.4.3 Bufferwerking

Omdat een WK-installatie bij voorkeur op vollast wordt gebruikt, kunnen momentane warmte-aanbod en -vraag grote verschillen vertonen. Hierdoor ontstaan gemakkelijk warmte-overschotten tijdens belichtingsuren en bij inzet van de WK-installatie ten behoeve van het openbare net. Ook kunnen als gevolg van CO₂-dosering met de ketel warmte-overschotten ontstaan. Om een efficiënter gebruik te maken van de geproduceerde warmte en het aantal draaiuren van de WK-unit voor het openbare net te vergroten, is een buffer ingezet om kortstondige warmte-overschotten tijdelijk op te slaan.

Uit figuur 3.8 blijkt dat bij het onderzoek in de kas een belangrijk deel van de ketelwarmte voor CO₂-bemesting en door de WK-installatie opgewekte warmte tijdelijk in de buffer werd opgeslagen. In figuur 3.11 en tabel 3.5 is de maandelijkse warmte-opslag in de buffer weergegeven voor de vier onderzoekafdelingen.



Figuur 3.11 Tijdelijke warmte-opslag per maand voor de vier afdelingen.

Figure 3.11 Monthly temporary heat storage for the four compartments.

Uit figuur 3.11 en tabel 3.5 blijkt dat de totale tijdelijke warmte-opslag met ruim 70 kWh/m² · jaar het laagste was voor de onbelichte afdeling en met ruim 100 kWh/m² · jaar het hoogste bij assimilatiebelichting en WKK in parallelbedrijf. Bij de WK-installatie parallel aan het openbare net was de warmtebuffering vooral in de zomer groot. Bij de onbelichte teelt werd in de winter relatief weinig warmte opgeslagen. Bij WKK in eilandbedrijf waren de warmte-overschotten in de zomer gering omdat dan alleen de CO₂-bemesting overschotten kon veroorzaken.

De grotere opslag bij parallelbedrijf is te verklaren uit de ingestelde regeling van de WK-installatie. Om frequent aan/uit schakelen van de installatie te voorkomen, was de regeling zodanig ingesteld dat deze na inschakeling minimaal gedurende 1 uur vollast in bedrijf bleef. Indien gedurende deze periode de warmtevraag van de kas lager was dan de door de WK-unit opgewekte hoeveelheid warmte, dan werd het overschot in de buffer opgeslagen. Bij de belichte teelt was de werking van de WK-installatie en de belichting tijdens de belichtingsperiode echter direct gekoppeld.

Tabel 3.5 Jaarrond warmtebuffering voor de vier afdelingen.
 Table 3.5 Yearround storage of heat for the four compartments.

maand	afd. 1		afd. 2		afd. 3		afd. 4	
	kWh/m ²	%	kWh/m ²	%	kWh/m ²	%	kWh/m ²	%
februari	6,9	9	7,9	8	3,0	4	8,0	8
maart	8,3	11	9,7	10	5,8	8	10,2	10
april	8,3	11	9,1	9	6,8	10	9,2	9
mei	4,2	6	8,7	9	8,7	12	8,7	9
juni	3,4	5	8,2	8	8,4	12	8,5	8
juli	2,7	4	8,5	9	8,6	12	8,3	8
augustus	6,8	9	8,6	9	8,7	12	8,6	8
september	7,7	10	8,9	9	8,1	11	8,9	9
oktober	8,7	12	9,7	10	6,9	10	10,4	10
november	5,2	7	5,9	6	2,7	4	6,6	6
december	6,1	8	6,5	6	1,6	2	6,7	7
januari	6,4	8	7,3	7	2,3	3	7,7	8
totaal warmte-opslag	74,7	100	99	100	71,6	100	101,8	100
totale warmte-toevoer	449		450		481		449	
bufferwerking	17%		22%		15%		23%	

Bij de onbelichte teelt werd jaarrond 15% van de totale warmtetoevoer tijdelijk in de buffer opgeslagen. Bij assimilatiebelichting met WKK in eiland- en parallelbedrijf werd resp. 17% en 22% van alle toegevoerde warmte opgeslagen. In paragraaf 3.1.4.1 is reeds een verklaring gegeven voor de geringe extra opslag van afdeling 4 t.o.v. afdeling 2. Het verschil tussen naar de buffer toegevoerde en onttrokken warmte geeft weer hoe efficiënt de buffer heeft gewerkt (figuur 3.8). Voor de vier afdelingen waren de warmte-verliezen door de buffer resp. 4, 4, 2 en 5 kWh per jaar. Het warmteverlies van de buffer varieerde aldus van 3 tot 5% van de toegevoerde warmte.

3.1.4.4 Brandstofverbruik op bedrijfsniveau

Het energieverbruik wordt in belangrijke mate bepaald door het teeltsysteem en de wijze van energie-opwekking. Assimilatiebelichting verhoogt het elektriciteitsverbruik, WKK veroorzaakt een toename van het brandstofverbruik op bedrijfsniveau. De omvang en de aanwending van de opgewekte elektriciteit zijn voor de verschillende maanden van het jaar weergegeven in tabel 3.6. De energie-effecten door de inzet van de WKK voor de proefvarianten is in tabel 3.7 weergegeven.

Tabel 3.6 Gebruik geproduceerde elektriciteit in de vier afdelingen.
Table 3.6 Use of produced electricity in the four compartments.

maand	afd. 1	afd. 2		afd. 3	afd. 4	
	lampen kWh/m ²	lampen kWh/m ²	openb. net kWh/m ²	openb. net kWh/m ²	lampen kWh/m ²	openb. net kWh/m ²
februari	16	16	6	24	16	6
maart	12	12	5	19	12	5
april	10	10	3	14	10	3
mei	-	-	9	9	-	9
juni	-	-	9	9	-	9
juli	-	-	11	11	-	11
augustus	8	8	4	12	8	4
september	12	12	3	16	12	3
oktober	15	15	3	19	15	4
november	17	17	8	26	17	8
december	21	21	6	29	21	7
januari	19	19	7	27	19	8
totaal	130	130	74	215	130	77

Tabel 3.6 toont dat ten behoeve van de assimilatiebelichting door de WK-installatie 130 kWh/m² elektriciteit per jaar werd opgewekt. Bij inzet van de WK-installatie in parallelbedrijf zou bovendien nog ongeveer 75 kWh/m² elektriciteit per jaar aan het openbare net kunnen worden geleverd. Bij decentrale elektriciteitsopwekking in de onbelichte teelt zou zelfs 215 kWh/m² per jaar naar het openbare net kunnen worden gevoerd. Het verschil in totale elektriciteitsproductie kan worden verklaard uit de vrijkomende lampwarmte bij de belichte teelt. De WK-unit hoefde daardoor minder in bedrijf te komen. Bij WKK in parallelbedrijf kon ook in de zomer veel elektriciteit aan het openbare net worden geleverd. Bij de onbelichte teelt kon in de wintermaanden zelfs meer dan 25 kWh elektriciteit per m² per maand worden verkocht.

Tabel 3.7 Jaarlijkse energieproductie en -verbruik op bedrijfsniveau met en zonder WKK toepassing.
Table 3.7 Yearly energy production and consumption on firm level with and without use of CHP.

	afd. 1		afd. 2		afd. 3		afd. 4	
	produktie kWh/m ²	verbruik aardgas m ³ /m ²	produktie kWh/m ²	verbruik aardgas m ³ /m ²	produktie kWh/m ²	verbruik aardgas m ³ /m ²	produktie kWh/m ²	verbruik aardgas m ³ /m ²
met WKK								
<u>warmte</u>								
- ketel	238	27	117	13	127	15	112	13
- WKK	215	46	337	72	356	76	342	73
totaal gas		73		85		91		86
<u>elektriciteit</u>								
- lampen	130		130		-		130	
- naar openbare net	-		74		215		77	
zonder WKK								
<u>warmte</u>								
- ketel	453	51	454	51	483	55	454	51
<u>elektriciteit</u>								
- uit openbare net (lampen)	130		130		-		130	
energie-effect WKK								
<u>lasten</u>								
- extra		22		34		36		35
- gasverbruik		(43%)		(67%)		(65%)		(69%)
<u>baten</u>								
- teruglevering elektriciteit	-		74		215		77	
- minder inkoop elektriciteit	130		130		-		130	
<u>totaal baten</u>	130		204		215		207	
<u>elektriciteit</u>								

Tabel 3.7 toont voor de onderzoekvarianten op bedrijfsniveau het gasverbruik en de hoeveelheid elektriciteit die ingekocht dan wel aan het openbare net geleverd kon worden. In de tabel zijn bovendien het gasverbruik en de elektriciteitsinkoop voor deze bedrijfssituaties weergegeven, indien er geen WK-installatie op het bedrijf zou zijn. Verondersteld is dat WKK geen invloed heeft op de bufferverliezen. Bij de berekening van het gasverbruik is uitgegaan van een ketelrendement van 0,9 en een calorische bovenwaarde voor aardgas van 9,77 kWh per m³.

De volgende energie-effecten kwamen naar voren:

Bij assimilatiebelichting en WKK in eilandbedrijf vergde de WK-installatie een extra brandstofverbruik van 22 m³ aardgas per m² kas (43% meer dan zonder WKK).

Daartegenover stond het voordeel dat 130 kWh/m² elektriciteit niet hoefde te worden gekocht van het nutsbedrijf.

Bij assimilatiebelichting en parallel-inzet van de WK-installatie was het brandstofverbruik 34 m³ aardgas per m² hoger dan zonder WKK (67%). Hiertegenover stonden echter voordelen m.b.t. elektriciteit omdat de 130 kWh/m² voor de belichting niet hoefde te worden

gekocht, terwijl daarnaast nog ongeveer 75 kWh/m² aan het openbare net kon worden geleverd.

Ook bij de onbelichte teelt zou het brandstofverbruik door de inzet van WKK met 36 m³ aardgas per m² toenemen (65%). In deze situatie zou echter zelfs 215 kWh/m² · jaar elektriciteit aan het nutsbedrijf kunnen worden geleverd.

3.1.4.5 Macro-energiebesparing

Uit het voorgaande is gebleken dat WKK op bedrijfsniveau energetisch zowel voordelen (geen inkoop of zelfs verkoop van elektriciteit) als nadelen (hoger gasverbruik) heeft. De hieruit voortvloeiende financiële gevolgen vallen buiten het kader van dit project en zijn daarom niet in de beschouwing opgenomen. In tabel 3.8 zijn de macrogasverbruiken met en zonder WKK voor de onderzoekvarianten weergegeven.

Tabel 3.8 Macro-energetische besparing door decentrale WKK toepassing.

Table 3.8 Macro energetic saving by decentral use of CHP.

	afd. 1	afd. 2	afd. 3	afd. 4
	aardgas m ³ /m ²	aardgas m ³ /m ²	aardgas m ³ /m ²	aardgas m ³ /m ²
decentrale WKK				
ketel	27	13	15	13
WKK	46	72	76	73
totaal	73	85	91	86
geen decentrale WKK				
ketel	51	51	55	51
elektriciteitscentrale	37	58	61	59
totaal	88	109	116	110
decentrale WKK t.o.v. elektriciteitscentrale				
energiebesparing	15	24	25	24
procentueel	17	22	22	22

In tabel 3.8 zijn de gasverbruiken weergegeven voor de vier onderzoekvarianten.

Bovendien is het gasverbruik vermeld indien de opgewekte elektriciteit niet door een WK-installatie maar in een elektriciteitscentrale zou zijn geproduceerd. Uitgegaan van een elektrisch rendement van de centrale van 40%. Voor de gekozen onderzoekvarianten waren de macro-energetische voordelen als volgt:

Bij assimilatiebelichting en WKK in eilandbedrijf kon 15 m³ ae per m² per jaar worden bespaard ten opzichte van centrale elektriciteitsopwekking (17%). Indien de WKK parallel aan het net werd ingezet kon 24 m³ ae per m² per jaar worden bespaard (22%). Decentrale WKK bij onbelichte teelten kon zelfs 25 m³ ae per m² per jaar besparen (22%). Parallel aan de besparing op het brandstofverbruik wordt ook de CO₂-uitstoot aanzienlijk

verminderd. Per m^3 aardgasbesparing bedraagt de CO_2 -emissie 1,8 kg. Dankzij de WKK werd voor de onderzoekvarianten een vermindering van de CO_2 -uitstoot bereikt variërend van $27 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$ bij de belichte teelt met WKK in eilandbedrijf tot $45 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$ bij de onbelichte teelt.

3.2 Modelberekeningen

Het empirisch onderzoek in de kas geeft een goed overzicht van de grootte-orde van de energiestromen bij gebruik van WKK onder verschillende bedrijfsomstandigheden. De resultaten gelden echter slechts voor een beperkt aantal situaties. Daarom wordt in deze paragraaf aan de hand van modelberekeningen een verbreding gemaakt op basis van de metingen die in de kas hebben plaatsgevonden.

Het empirisch onderzoek sluit aan bij de eerdere proefnemingen, die in de periode feb. 1992 t/m jan. 1993, eveneens in deze proefaccommodatie hebben plaatsgevonden. Toen lag de nadruk op de energiebesparing door warmte-opslag in relatie tot CO_2 -dosering en WKK (de Zwart, 1994). Om een brug te slaan tussen de resultaten van toen en het werk waarover in dit rapport wordt geschreven, zal in paragraaf 3.2.1 kort worden ingegaan op de energiebesparing door de warmtebuffer in afdeling 1.

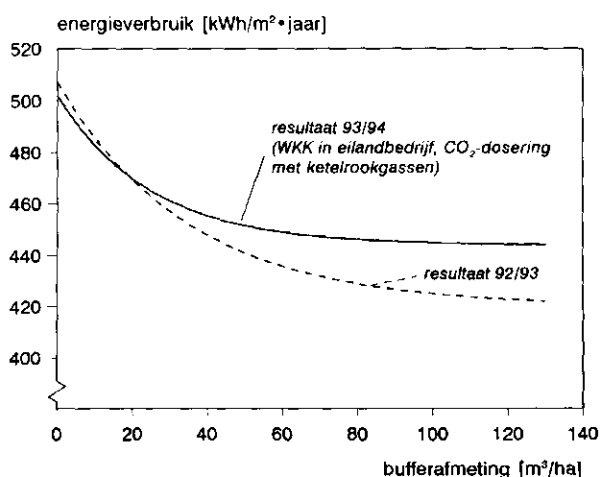
Naast een energiebesparende functie heeft de buffer, bij WKK in parallelbedrijf of ten behoeve van elektriciteitsopwekking voor het openbare net, ook invloed op de regeling van de WK-installatie. In paragraaf 3.2.2 is aandacht geschonken aan de relatie tussen de CO_2 -gift en de WK-draaiuren. Vervolgens is de mogelijkheid naar voren gebracht om met een verbeterde regeling het aantal start/stops van de WK-installatie te beperken.

Tenslotte zal in paragraaf 3.2.4 worden ingegaan op de invloed van het niet gebruiken van de WK-installatie in de zomer op de jaarlijkse bedrijfstijd en de elektriciteitsproductie.

3.2.1 Energiebesparing door warmte-opslag

De warmteproductie van een WK-unit en een ketel, als deze wordt gebruikt voor CO_2 levering, vallen niet altijd samen met de warmtevraag van de kas. Een warmte-opslag-tank kan deze warmte-overschotten tijdelijk opslaan. Bij toenemende bufferafmeting zal de kans dat de buffer overvol raakt kleiner worden, zodat de af te luchten hoeveelheid warmte afneemt en de energiebesparing toeneemt.

In figuur 3.12 is met de getrokken lijn het verloop van het energieverbruik van afdeling 1 weergegeven als functie van de bufferafmeting. Het blijkt duidelijk dat met toenemende buffergrootte het energieverbruik van de kas daalt, maar dat vanaf een buffer van $40 \text{ m}^3/\text{ha}$ het effect van extra bufferruimte klein wordt.



Figuur 3.12 Invloed van de buffergrootte op het energieverbruik bij assimilatiebelichting met WKK in eilandbedrijf en CO_2 -dosering met ketelrookgassen.

Figure 3.12 Influence of the dimension of the storage facility on energy consumption in case of illumination and on-site CHP and CO_2 -addition with exhaust gases of the boiler.

Ter vergelijking is in figuur 3.12 een curve weergegeven uit voorgaand onderzoek in de kas (gemarkeerd met 'resultaat 92/93'). Deze gestreepte curve laat in de eerste plaats zien dat de som van alle tijdelijke overschotten in de voorgaande proefperiode groter was dan in de periode 93/94. Dit is op te maken uit het verschil in energieverbruik bij een buffergrootte 0 en de asymptoot van de curven. In de onderzoeksperiode 93/94 zijn deze waarden respectievelijk 501 en 444 $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$. In de periode 92/93 was het energieverbruik zonder buffer 508 $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$ en lag de asymptoot bij 420 $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$. Het totale warmte-overschot in de genoemde onderzoeksperiodes bedroeg dus respectievelijk 57 en 88 $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$. De oorzaak voor deze verschillen is gelegen in het feit dat in 93/94 een geringer thermisch vermogen van de WK-installatie en vaker een minimumbuis werd gehanteerd.

Naast de omvang van de warmte-overschotten valt uit het flauwere verloop van de curve voor 92/93 op te maken dat de tijdsduur van de warmte-overschotten in die periode gemiddeld langer zijn. Het effect dat in de gestreepte curve nog zichtbaar is bij grotere bufferafmetingen wordt namelijk bepaald door de opslag van warmte over een langere periode (denk hierbij aan anderhalve dag).

Met behulp van de methode die in voorgaand onderzoek is ontwikkeld en beschreven (de Zwart, 1994), is voor afdeling 1 de economisch optimale bufferafmeting bepaald. Bij een gasprijs van 23 cent per m^3 bleek in 93/94 de optimale buffergrootte 47 m^3/ha te bedragen. Deze buffergrootte is opvallend kleiner dan de 68 m^3/ha die voor de voorgaande proefperiode was berekend. Het veel lagere optimum kan worden toegeschreven aan de combinatie van een kleiner thermisch vermogen van de WK-installatie en het hogere energieverbruik van de kas door het intensiever gebruik van minimumbuis in vergelijking met de proeven over 92/93.

Uit figuur 3.12 blijkt dat de energiebesparing bij een buffer met een optimale afmeting ongeveer 50 $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$ bedraagt. Omgerekend naar aardgas is dit ongeveer

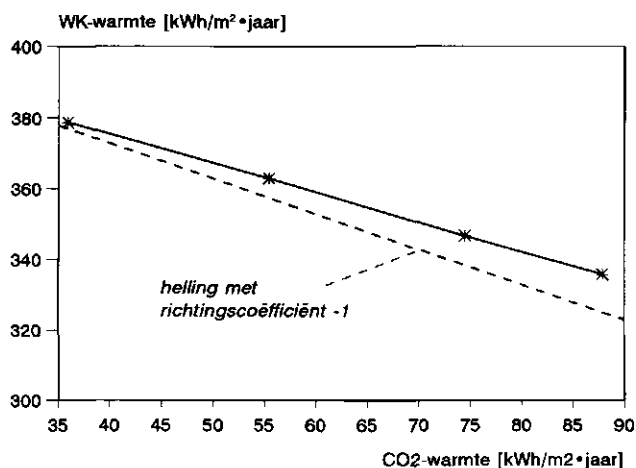
$5,7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$, wat bij een prijs van 23 cent per m^3 een besparing oplevert van f 1,31 per m^2 per jaar. De totale kosten van zo'n buffer zijn f 0,60 per m^2 per jaar (de Zwart, 1994), zodat een buffer ongeveer f 0,70 per m^2 per jaar voordeel oplevert.

3.2.2 Relatie tussen CO_2 -gift en draaiuren van de WK-installatie

De dosering van CO_2 met ketelrookgassen geeft warmte als bijproduct. In de situatie dat de WK-installatie als primaire warmtebron wordt ingezet terwijl bovendien elektriciteit aan het openbare net wordt geleverd, zal een verhoging van de CO_2 -gift leiden tot een vermindering van de warmteproductie door de WK-unit. Dit mechanisme is met het simulatiemodel bestudeerd voor CO_2 -doseringintensiteiten van 3,9; 6,1; 8,1 en $9,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aardgas per jaar. In figuur 3.13 zijn de warmteproducties door de WK-installatie en CO_2 -dosering weergegeven. Wanneer WK-warmte geheel zou kunnen worden gesubstitueerd door CO_2 -warmte, dan zou de richtingscoëfficiënt van de curve -1 zijn. In deze situatie zou een toename van de CO_2 -warmte met 1 kWh per jaar, de WK-installatie 1 kWh per jaar minder produceren.

De figuur toont een rechtevenredig verband. Vermindering van de CO_2 -gift leidt echter niet tot een even zo grote verhoging van de warmteproductie door de WK-unit, hetgeen tot uitdrukking komt in het iets vlakkere verloop van de gevonden curve in vergelijking met een lijn met richtingscoëfficiënt -1. De richtingscoëfficiënt van de uit het onderzoek naar voren gekomen curve bedraagt -0,84.

Het verschil tussen de hoeveelheid warmte van de WK-installatie en de CO_2 -warmte wordt verklaard door twee aspecten. In de eerste plaats komt het incidenteel voor dat een overschot aan CO_2 -warmte moet worden afgelucht omdat de buffer vol is. De regeling die voor afdeling 3 gehanteerd werd (zie 2.2.4) was zodanig dat WK-warmte niet werd afgelucht. In de tweede plaats zal een hoge CO_2 -gift in het algemeen leiden tot een hoge watertemperatuur van de buffer waardoor meer verliezen optreden.



Figuur 3.13 Relatie tussen warmte uit de ketel voor CO_2 -doseren en de warmteproductie door de WK-unit.

Figure 3.13 Relation between heat from the boiler for CO_2 -supply with exhaust gases and heat production by CHP.

3.2.3 Inzet buffer ter beperking van het aantal start/stops van de WK-installatie

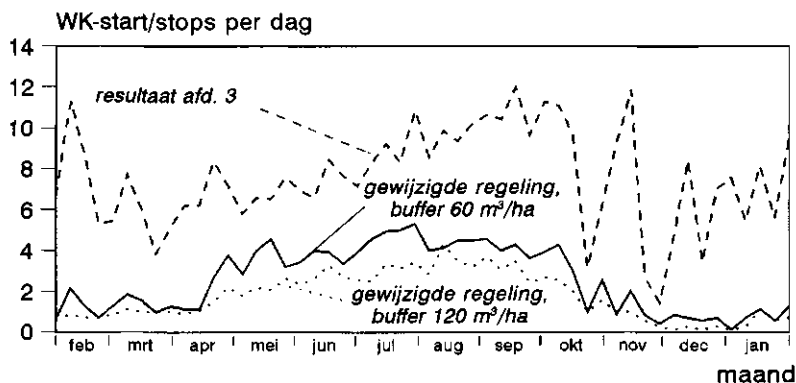
In par. 3.1.4.2 is een aantal kenmerken van het gedrag van de WK-regeling gepresenteerd. Opvallend was het grote aantal start/stops dat optrad bij inzet van WKK parallel aan het openbare net en bij decentrale opwekking. Het grote aantal start/stops bij het onderzoek in de proefaccommodatie werd toegeschreven aan de toegepaste regeling van de WK-installatie.

Om inzicht te verkrijgen in de mogelijkheid tot beperking van het aantal start/stops is een gewijzigde regeling in het simulatiemodel geïmplementeerd. In deze regeling wordt de WK-installatie, bij inzet op warmtevraag van de kas, in bedrijf gehouden tot de buffer 25% is gevuld. In figuur 3.14 zijn het aantal start/stops en draaiuren per dag voor de bedrijfssituatie met inzet van de WK-unit in een onbelichte teelt weergegeven. De resultaten zijn berekend voor buffergrootten van 60 en 120 m³/ha.

In vergelijking met de resultaten uit de kas leidde de gewijzigde regeling bij een buffer van 60 m³/ha tot een sterke vermindering van het aantal start/stops. In plaats van de oorspronkelijke 2720 start/stops per jaar berekende het model 932 start/stops per jaar. Een grote buffer (120 m³/ha) verlaagde het aantal start/stops zelfs tot 641 per jaar. De maximale aaneengesloten draaitijd, die in de kas 68 uur bedroeg, werd bij gewijzigde regeling en een buffer van 60 m³/ha opgevoerd tot 282 uur. Vergroting van de buffer naar 120 m³/ha leverde een verdere verhoging van de maximale aaneengesloten draaitijd van de WK-installatie met slechts 3 uur naar 285 uur per jaar op.

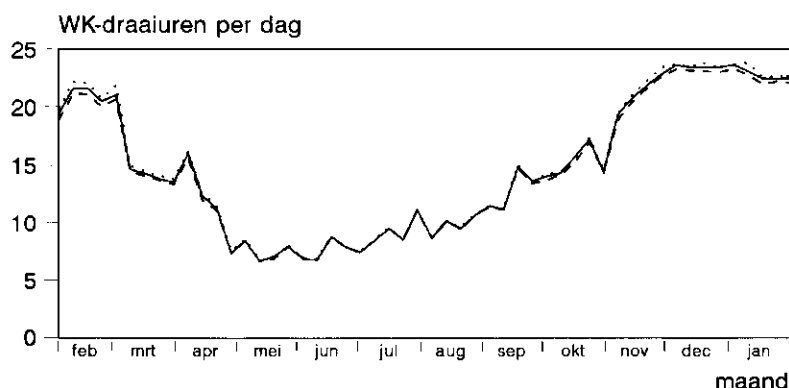
Figuur 3.15 toont dat het aantal draaiuren per dag nauwelijks werd beïnvloed door de wijziging van de regeling. Het totaal aantal draaiuren werd door de gewijzigde regeling en een buffer van 60 m³/ha verhoogd van 5397 naar 5462 uur per jaar (+ 1,2%).

Vergroting van de bufferafmeting naar 120 m³/ha resulteerde in nog 65 draaiuren extra. Bij de gewijzigde regeling steeg het gemiddeld aantal draaiuren van de WK-installatie per start/stop van 2 uur naar 5,9 uur bij een buffer van 60 m³/ha. Door een buffer van 120 m³/ha werd het gemiddeld aantal draaiuren per start/stop verhoogd naar 8,6 uur.



Figuur 3.14 Aantal start/stops van de WK-installatie per dag voor twee buffergrootten bij gewijzigde regeling in vergelijking met de resultaten van afdeling 3 van de kas.

Figure 3.14 Number of start/stops of the CHP engine per day for two sizes of the storage facility and changed control compared to the results of compartment 3 of the research accommodation.



Figuur 3.15 Aantal draaiuren van de WK-installatie per dag voor twee buffergrootten bij gewijzigde regeling in vergelijking met de resultaten van afdeling 3 van de kas.

Figure 3.15 Number of operation hours of the CHP engine per day for two sizes of the storage facility and changed control compared to the results of compartment 3 of the research accommodation.

3.2.4 Toepassing van een zomerstop

Uit de figuren 3.14 en 3.15 blijkt dat in de zomer het aantal start/stops per dag het grootst is, terwijl het aantal draaiuren dan gering is. Om de gemiddelde draaitijd per start/stop te verhogen en concurrentie met CO₂-dosering om schaarse bufferruimte te beperken, wordt door energiebedrijven vaak een 'zomerstop' gehanteerd. De WK-installatie wordt dan gedurende de zomer niet gebruikt (Oversloot, 1992). Met het simulatiemodel zijn voor een onbelichte teelt de energetische implicaties berekend bij een korte en een lange zomerstop.

Bij een korte zomerstop, de WK-installatie is dan buiten gebruik van 10 juni tot en met 1 september, daalt het aantal draaiuren per jaar tot 4737. Door toepassing van de in paragraaf 3.2.3 genoemde WK-regeling, waarbij de installatie in bedrijf wordt gehouden tot de buffer 25% is gevuld, kan het aantal start/stops per jaar tot 426 worden beperkt. De gemiddelde draaitijd per start/stop bedraagt in deze situatie ruim 11 uur.

Een lange zomerstop, d.w.z. de WK-installatie is van 5 mei tot 1 oktober niet in gebruik, vermindert het aantal draaiuren tot 4072 per jaar. Het aantal start/stops daalt bij deze toepassing tot 235. De gemiddelde draaitijd per start/stop stijgt daardoor tot 17 uur. Gebleken is dat het effect van een zomerstop op de elektriciteitsproductie vrij groot is. Een korte of lange zomerstop resulteert in een afname van de jaarlijkse elektriciteitsproductie van resp. 13 en 25%.

4 Discussie en aanbevelingen

Het IMAG-DLO onderzoek heeft aangetoond dat de bedrijfssituatie en de toepassingswijze van WKK een belangrijke invloed hebben op de omvang van de energiebesparing. Ten opzichte van het conventionele opwekkingssysteem (elektriciteitsopwekking in een elektriciteitscentrale en warmte-opwekking met de ketel) werden in het empirisch onderzoek dankzij de WKK macro-energetische besparingen gerealiseerd oplopend tot 22%. In dit onderzoek werden - bij WKK parallel aan het openbare net en decentrale elektriciteitsopwekking - macro-energetische besparingen van ongeveer $25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$ bereikt; dit was ongeveer 50% hoger dan bij WKK in eilandbedrijf. Het belang van warmte-opslag kwam tot uiting in het feit dat afhankelijk van de gekozen bedrijfssituatie 15 tot 23% van de totale warmtetoevoer tijdelijk in de buffer werd opgeslagen. Het aantal start/stops van de WK-installatie bij het onderzoek in de kas varieerde sterk bij de vier onderzoekvarianten. Bij de inzet in eilandbedrijf bleef het aantal start/stops beperkt tot 364 per jaar; bij decentrale elektriciteitsopwekking werd de WK-installatie 2720 keer per jaar aangezet.

Modelberekeningen hebben aangetoond dat door wijziging van de WK-regeling het aantal start/stops aanzienlijk kan worden teruggedrongen. Hierbij is echter de beschikbaarheid van een buffer essentieel.

Op bedrijfsniveau treden door WKK grote veranderingen op bij de in- en verkoop van energie. Assimilatiebelichting en WKK parallel aan het net vraagt een extra aardgasverbruik van bijna 70%. Er hoeft voor de assimilatiebelichting geen elektriciteit te worden gekocht, er kan zelfs ongeveer $75 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{jaar}$ aan het openbare net worden geleverd. Bij een onbelichte teelt kan per jaar zelfs $215 \text{ kWh}/\text{m}^2$ elektriciteit aan het openbare net worden verkocht. Het zal duidelijk zijn dat het nationale prijsbeleid op energiegebied van grote invloed is op de bedrijfseconomische haalbaarheid van WK-toepassingen. Anticiperend buffergebruik bleek in de kas nauwelijks voordeel op te leveren, waarschijnlijk omdat het is toegepast op een afdeling met assimilatiebelichting en de WK-installatie een groot vermogen heeft. Het kwam niet zo vaak voor dat de incidentele warmtevraag van de kas groter was dan het vermogen dat de WK-unit kon leveren. De belichting maskeerde het effect van het anticipatie-algoritme omdat juist in de koude periode van het jaar de WK-installatie voorafgaand aan een periode met een grote warmtevraag, namelijk de opstook in de ochtend, al een aantal uren in werking was ten behoeve van assimilatiebelichting.

Hoewel uit de resultaten van het onderzoek bijzonder gunstige energiebesparingseffecten naar voren zijn gekomen, meent het IMAG-DLO dat er mogelijkheden zijn om de WK-installatie efficiënter te gebruiken.

Aanbevolen wordt om in de naaste toekomst onderzoek te verrichten op de volgende aandachtsgebieden:

- Gezien de resultaten uit het empirisch onderzoek waarbij een relatief geringe productieverhoging door de assimilatiebelichting naar voren kwam, is een studie naar de bedrijfseconomische haalbaarheid van assimilatiebelichting bij verschillende bedrijfssituaties wenselijk.
- In verband met het negatief effect van start/stops op de onderhoudskosten van een WK-installatie wordt aanbevolen een praktijkonderzoek uit te voeren naar de omvang van het aantal start/stops en mogelijkheden aan te geven ter beperking. Door verbeter-

ring van de WK-regeling (o.a. buffer-participatieregeling) kunnen nog belangrijke voordelen worden behaald.

- Verwacht wordt dat een verbeterde afstemming van de vermogens van de energiebronnen kan leiden tot verdere energiebesparing. Ook zijn er mogelijk voordelen te behalen door het in deellast inzetten van de WK-installatie.

IMAG-DLO heeft plannen om door toekomstig onderzoek de genoemde aandachtsgebieden nader te analyseren.

5 Conclusies

Uit het empirisch onderzoek in de kas kwam het volgende naar voren:

- Assimilatiebelichting gaf een produktieverhoging van 15,5 stengels per m² per jaar (7%). Hoewel een kwalitatief beter produkt werd geoogst en bovendien de extra produktie viel in de maanden met hogere produktprijzen, zijn er twijfels gerezen over de economische haalbaarheid van belichting. De extra kosten voor assimilatiebelichting zijn zo hoog dat de meeropbrengst onvoldoende lijkt om tot een positief saldo te komen. Dit aspect valt echter buiten het kader van het onderzoek.
- Bij opstelling in eilandbedrijf leverde de WK-installatie direct ongeveer 40% van de totale warmtevraag. Bij regeling op warmtebehoefte was de directe bijdrage meer dan 60%.
- De tijdelijke warmte-opslag met de buffer was in de belichte afdelingen bij WKK in parallelbedrijf met ongeveer 22% duidelijk hoger dan bij WKK in eilandbedrijf (17%) en de onbelichte teelt (15%).
- In de onbelichte afdeling werd met 215 kWh/m² per jaar ruim 65% meer elektriciteit geproduceerd dan bij belichting in eilandbedrijf. Alle in deze afdeling opgewekte elektriciteit was bestemd voor het openbare net. Bij inzet van de WK-installatie in parallelbedrijf kon naast de voor belichting benodigde elektriciteit van 130 kWh/m² nog ongeveer 75 kWh/m² naar het openbare net worden gevoerd.
- Indien, bij assimilatiebelichting, de WK-installatie niet in eilandbedrijf doch parallel aan het openbare net werd ingezet, kon het aantal bedrijfsuren per jaar worden verhoogd van ruim 3250 tot meer dan 5100. Bij inzet als decentrale elektriciteitsopwekker in een onbelichte teelt konden zelfs bijna 5400 bedrijfsuren per jaar door de WK-installatie worden gerealiseerd.
- Het aantal start/stops van de WK-installatie was voor de vier onderzoekvarianten in de kas sterk verschillend. Als uitersten kwamen naar voren de eilandbedrijfssituatie met een jaarrond aantal start/stops van 364 en decentrale opwekking in de onbelichte afdeling met ruim 2700 start/stops per jaar. Bij inzet van de WKK parallel en decentraal aan het openbare net was de aaneengesloten draaitijd meestal minder dan 2 uur (meer dan 75%). In de winter werden echter ook regelmatig perioden met een duur van meer dan een etmaal bereikt.
- Afhankelijk van de bedrijfssituatie kon door tijdelijke warmte-opslag 15 - 23% van de totale warmtevraag met de buffer worden toegevoerd. In tegenstelling tot de eilandbedrijfssituatie was de warmte-opslag bij parallelbedrijf en decentrale opwekking in de zomer het hoogste.
- De voor de belichting benodigde elektriciteit bedroeg 130 kWh/m² per jaar. Bij parallel inzet van de WKK kon tevens ongeveer 75 kWh/m² aan het openbare net worden geleverd. Bij decentrale elektriciteitsopwekking in een onbelichte teelt zou zelfs 215 kWh/m² per jaar naar het openbare net kunnen worden gevoerd.
- Tegenover het voordeel van minder inkoop en verkoop van elektriciteit moet bij WKK rekening worden gehouden dat op bedrijfsniveau het aardgasverbruik toeneemt. Bij assimilatiebelichting en WKK in eilandbedrijf vergde de inzet van WKK een extra brandstofverbruik van 22 m³ aardgas per m² kas per jaar. Bij parallelbedrijf en decentrale inzet van de WK-installatie bedroeg het extra brandstofverbruik zelfs resp. 34 en 36 m³ aardgas per m² kas per jaar.

- De macro-energie-effecten bij WKK op tuinbouwbedrijven zijn aanzienlijk. T.o.v. opwekking in een elektriciteitscentrale werd bij assimilatiebelichting en WKK in eilandbedrijf 15 m^3 ae per m^2 per jaar bespaard (17%). Indien de WK-installatie parallel aan het net werd ingezet kon 24 m^3 ae per m^2 per jaar worden bespaard (22%). Decentrale inzet van WKK bij onbelichte teelten gaf een besparing van 25 m^3 ae per m^2 per jaar (22%). Het zal duidelijk zijn dat ook de CO_2 -emissie met genoemde percentages zal worden teruggedrongen.
- Parallel aan de besparing op het brandstofverbruik werd ook de CO_2 -uitstoot aanzienlijk verminderd. Dankzij de WKK werd voor de onderzoekvarianten een vermindering van de CO_2 -uitstoot bereikt variërend van $27 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$ per jaar bij de belichte teelt met toepassing in eilandbedrijf tot $45 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$ per jaar bij de onbelichte teelt.
- Het anticiperend buffergebruik heeft slechts een gering effect gesorteerd. Dit kan worden toegeschreven aan het feit dat het algoritme is toegepast op een afdeling met belichting en het vrij grote thermisch vermogen van de WKK. Bij gewijzigde bedrijfssituaties worden positieve effecten verwacht.

Uit het modelmatig onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Voor een bedrijfssituatie met WKK in eilandbedrijf is met behulp van het kasklimaatmodel 'KASPRO' de optimale bufferafmeting berekend. Deze bedroeg $47 \text{ m}^3/\text{ha}$ en leidde tot een energiebesparing van $5,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ per jaar. Een buffer van optimale afmeting leverde een winst van ongeveer f 0,70 per m^2 per jaar op.
- Bij een wijziging van de regeling, zodanig dat de WK-installatie in bedrijf blijft totdat de buffer 25% is gevuld, kan een aantal start/stops lager dan 1000 per jaar worden gerealiseerd. Bij toepassing in een onbelichte teelt kan bij een warmte-opslagbuffer van $120 \text{ m}^3/\text{ha}$ het aantal start/stops van de WK-installatie worden beperkt tot slechts 641 start/stops per jaar (in het empirisch onderzoek 2720 start/stops).
- Een zomerstop, d.w.z. de WK-installatie is in de zomermaanden niet in gebruik, resulteert voor de onbelichte teelt in een zeer laag aantal start/stops, maar vermindert de elektriciteitsproductie aanzienlijk. Bij een korte zomerstop (84 dagen) wordt 13% minder elektriciteit geproduceerd. Bij een lange zomerstop (150 dagen) is de vermindering 25%.
- Vermindering van de CO_2 -gift leidt niet tot een even zo grote verhoging van de warmteproductie door de WK-unit, maar slechts met een factor 0,84.

Summary

The combined generation of heat and power provides an efficient use of primary energy, because the conversion efficiency of gas into utilized electricity and heat is high. If the heat from the combined heat and power engine can be used completely, a saving performance of 0.74 joule of primary energy can be achieved for each joule produced, when compared.

In principle combined heat and power is very suitable for application in greenhouse cultivation.

IMAG-DLO has researched potential savings on primary energy in case of applying combined heat and power. Empirical experiments were carried out in a greenhouse and in a study by means of a simulation model. Short-term heat storage is utilized in the greenhouse and in the model. The empirical research was carried out in a setup with a cultivation of roses in four equal greenhouse compartments. Artificial illumination was used in three compartments, and the other compartment was unlighted. In case of artificial illumination energetic effects were studied of the on-site use of combined heat and power and connection to the public grid. In the unlighted compartments these effects were studied if the combined heat and power engine was installed as primary heat source. On a year-round basis the energetic requirements and greenhouse climatological conditions were determined. Besides, the production of roses was recorded.

Artificial illumination resulted in an increase of 7% of stems. This rather low extra production makes the economical feasibility of illumination doubtful.

Combined heat and power showed a substantial increment of the gas consumption of the nursery. For the artificially illuminated cultivation and on-site use of combined heat and power, the gas consumption increased by 43%.

Applying the combined heat and power installation as a primary heat source showed an increment of the gas consumption of almost 70% for the lighted and the unlighted compartments.

The macro energetical effects for combined heat and power appeared to be very important. The empirical research proved that artificial illumination and on-site combined heat and power saved about 17% primary energy. In case of illumination and connection of the combined heat and power to the public grid, 22% was saved. This saving percentage was also reached if combined heat and power was installed on the heat requirement of the greenhouse and delivery of produced electricity to the grid (unlighted cultivation). In case of illuminated cultivation with combined heat and power connected to the public grid and unlighted cultivation with combined heat and power as a primary heat source, over 200 kWh of electricity per m² per year was produced. The combined heat and power engine with an installed thermal capacity of 66 W/m² reached over 5000 running hours per year.

With the simulation model the control behaviour of the combined heat and power installation was studied. It appeared that improvement of the control can substantially decrease the number of start and stops of the engine. In the empirical research a number of 2700 start and stops per year appeared for the unlighted cultivation (buffer dimension 200 m³/ha). The model showed that, in case of an improvement of the control of the combined heat and power installation, and a buffer dimension of 60 m³/ha the number of start and stops can be reduced for about 1000 per year. For a buffer dimension of 120

m³/ha the number of start and stops can even be reduced to 650 per year.

The model is also applied to study the dissipation of heat from the combined heat and power installation by heat used for CO₂ enrichment. It has appeared that these factors are connected linearly. A reduction by one heat unit used for CO₂ enrichment led to an increase of 0.84 heat unit from the heat and power installation.

With the model the economically optimized dimension of the buffer is studied in case of artificial illumination in roses and on-site application of the combined heat and power installation. In the empirical research, for the setpoints chosen for the climate control in the greenhouse and at a gas price of 23 cent per m³, the optimum capacity of the storage appeared to be 47 m³/ha. This storage tank reduces the gas consumption by 5.7 m³ per m² per year. After deduction of the costs of the buffer the economic advantage amounts to 70 cent per m² per year.

Literatuur

- Leeuwen, R.C.L. van en N.J.A. van der Velden, 1992. Het gebruik van warmte/krachtinstallaties in de glastuinbouw. Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO), publikatie 4.134, 's Gravenhage
- Huijs, J.P.G. en H.F. de Zwart, 1992. Optimalisering energiegebruik bij toepassing van warmtekrachtkoppeling en assimilatiebelichting bij tomaten. Instituut voor Milieu en Agritechniek (IMAG-DLO), rapport 92-5, Wageningen, 67 pp
- Zwart, H.F. de en J.P.G. Huijs, 1994. Optimale bufferafmeting bij assimilatiebelichting met WKK in eilandbedrijf in de glastuinbouw. Instituut voor Milieu en Agritechniek (IMAG-DLO), rapport 94-24, Wageningen
- Structuurenquête 1992 glastuinbouw, 1993. Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg, 154 pp
- Studies en diensten de Melker b.v., 1993. Tussenrapport over rookgasbehandeling bij warmtekrachtkoppeling in de glastuinbouw. Novem b.v., referentienr. R93P184.007, Sittard
- Oversloot, H.P., 1992. Optimale integratie van WK-systemen in bestaande verwarmings-systemen met warmtebuffers in de glastuinbouw. T.N.O.- Bouw, rapport B-92-1048, Delft
- Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw, 1993-1994. Groenten, snijbloemen, potplanten. Informatie en Kennis Centrum Akker en Tuinbouw, Afdeling Glasgroente en Bloemisterij, Aalsmeer/Naaldwijk
- Breuer, J.J.G., A.M. van Weele en A.H.C. van Paassen, 1991. Referentiejaar voor de Nederlandse glastuinbouw, Klimaatbeheersing 20 (1991) nr.4 (april)

Rapportenoverzicht

- 94-1 Bleijenberg, R. en J.P.M. Ploegaert, 1994 – Handleiding voor de IMAG-DLO meetmethode ter bepaling van ammoniakemissies uit mechanisch geventileerde stallen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 77 pp. f 40,00
- 94-2 Hendriks, J.G.L. en J.F.M. Huijsmans 1994 – Trekkkrachtbehoefte van sleepvoeten- en zodebemestertechnieken op grasland.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 44 pp. f 35,00
- 94-3 Elderen, E. van en G.H. Kroeze, 1994 – Operational decision making for arable and grassland farms.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 74 pp f 35,00
- 94-4 Huis in 't Veld, J.W.H., Kroodsma, W. en W.J. de Boer 1994 – Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van een hellende betonvloer.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp f 30,00
- 94-5 Arts, W.B.M., Verwijs, B.R. en J. van Maanen, 1994 – De invloed van berijding op de fysische bodemconditie van zandgrond en de gevolgen daarvan voor de grasproductie.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 69 pp. f 35,00
- 94-6 Boer, W.J. de, Keen, A. en G.J. Monteny, 1994 – Het effect van spoelen op de ammoniakemissie uit melkveestallen. Het schatten van behandelingseffecten en nauwkeurigheden door tijdreeksanalyse.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 32 pp. f 30
- 94-7 Huis in 't Veld, J.W.H., Boer, W.J. de en W. Kroodsma, 1994 – Ammoniakemissiereductie door spoelen van een hellende, gecoate betonvloer in een rundveestal.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 25 pp. f 30,00
- 94-8 Broomhaar, H.G. en A. Bouman, 1994 – Mechanische oogst en schoning van nieuwe oliehoudende gewassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 34 pp. f 30,00
- 94-9 Breuer, J.J.G. en N.J. van de Braak, 1994 – Een statisch en dynamisch simulatiemodel voor klimaatprocessen en energiestromen in kassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 60 pp. f 40,00
- 94-10 Breuer, J.J.G. en N.J. van de Braak, 1994 – Effect van grondbuiskoeling en indirecte verdampingskoeling op de ventilatie in kassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 29 pp. f 30,00
- 94-11 Lokhorst, C., Smits, A.C., Niekerk, Th. van en A.M. van de Weerdhof, 1994 – Programma van eisen voor de inrichting van volièrestallen voor leghennen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 51 pp. f 30,00
- 94-12 Straelen, B.C.P.M. van, 1994 – Remsystemen voor landbouwwagens.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 65 pp. f 30,00
- 94-13 Swierstra, D., Huis in 't Veld, J.W.H., Kroodsma, W. en M.C.J. Smits, 1994 – Ammoniakemissie en stroefheid van roostervloeren en dichte vloeren in ligboxenstallen voor rundvee.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp. f 30,00

- 94-15 Boer, W.J. de en N.W.M. Ogink, 1994. – Het effect van ventilatie en temperatuur op de ammoniakemissie uit een rundveestal : het schatten van behandelings-effecten en nauwkeurigheden door tijdreeksanalyse.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-16 Ketelaar-de Lauwere, C.C. en E. Benders, 1994. – De invloed van het additioneel verstrekken van krachtvoer in de selectiebox en het melken op de bezoeken van koeien aan het automatisch melksysteem.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp. f 30,00
- 94-17 Top, M. van den, Akkermans, R. en H.H.E. Oude Vrielink, 1994. – Ergonomische knelpunten van voliëre- en legbatterijhuisvestingssystemen voor leghennen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 42 pp. f 40,00
- 94-18 Burgers, B.C.H., Dieën, J.H. van en H.M. Toussaint, 1994 – Arbeidsongeschiktheid in de agrarische sector in Nederland.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 72 pp. f 45,00
- 94-19 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.G.P. en J.F.M. Huijsmans, 1994 – Emissie-beperkende spuittechnieken voor de fruitteelt (1992) : onderzoek depositie en emissie van gewasbeschermingsmiddelen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 40,00
- 94-20 Braak, N.J. van de en P. Knies, 1994 – Onderzoek naar de invloed van schermtoe-passing op energieverbruik en relatieve vochtigheid in kassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 42 pp. f 35,00
- 94-21 Uenk, G.H., Monteny, G.J., Demmers, T.G.M. en M.G. Hissink, 1994. – Praktijk-onderzoek naar het drogen van leghennenmest in een droogtunnel en het effect op de ammoniak-, geur- en stofemissie.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-22 Bruins, M.A., Kroodsmas, W. en R. Scholtens, 1994 – Ammoniak- en geuremissie uit een gesloten opslag voor voorgedroogde leghennenmest: een oriënterend onder-zoek.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 30,00
- 94-23 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.G.P. en J.F.M. Huijsmans, 1994 – Emissie-beperkende spuittechnieken voor de fruitteelt (1993) : onderzoek emissie van gewasbeschermingsmiddelen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 31 pp. f 40,00
- 94-24 Zwart, H.F. de en J.P.G. Huijs, 1994 – Optimale bufferafmeting bij assimilatie-belichting met WKK in eilandbedrijf.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 40,00
- 94-25 Frénay, J.W., Straman, J.P. and C.R. Braam, 1994 – Circular prefabricated concrete tanks.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 60 pp. f 45,00
- 94-26 Smits, A.C., Plomp, M. en S.A. Goedegebuure, 1995 – Vergelijking van gedrag, produktie en gezondheid van vleesstieren gehouden op betonnen en op met rubber beklede roostervloeren
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 45 pp. f 35,00
- 94-27 Maeyer, E.A.A. de en W. Huisman, 1995 – Oogst- en conserveringstechniek van vezelhenne.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 134 pp. f 45,00

- 94-28 Groot Koerkamp, P.W.G. en H. Montsma, 1995 – De ammoniakemissie uit een volièrestal met het multifloorsysteem en een mestdroogtunnel.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 40,00
- 94-29 Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.P.G en J.F.M. Huijsmans, 1994 – De invloed van een windhaag op emissies bij fruitteeltspuiten.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 27 pp. f 30,00
- 94-30 Ouwerkerk, E.N.J. van en P. Knies, 1995 – Energieverbruik en mogelijkheden van energiebesparing op verwarming en ventilatie in de intensieve veehouderij.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 77 pp. f 40,00
- 94-31 Groot Koerkamp, P.W.G. en R. Bleijenberg, 1995 – De ammoniakemissie uit drie typen volièrestallen voor leghennen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 35,00
- 94-32 Ouwerkerk, E.N.J. van en A.J.A. Aarnink, 1995 – Gasproductie in vleesvarkensstallen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 43 pp. f 30,00
- 94-33 Bleijenberg, R., Kroodsma, W. en N.W.M. Ogink, 1995 – Spoelen met een formaline-oplossing in een ligboxenstal om de ammoniakemissie te beperken.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 37 pp. f 35,00
- 94-34 Elzing, A., Commissaris, A.C.H.M., Oosthoek, J. en C.M. Groenestein, 1995 – De urease-activiteit en de ammoniakemissie in varkensstallen met een mestschuif-systeem onder de roostervloer.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 30,00
- 94-35 Bleijenberg, R., Kroodsma, W. en N.W.M. Ogink, 1995 – Technieken om de ammoniakemissie uit ligboxenstallen met roostervloer te beperken = Techniques for the reduction of ammonia emission from a cubicle house with slatted floor.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 34 pp. f 35,00
- 94-36 J.P.G. Huijs, J.P.G. en P. Knies, 1995 – Warmtekrachtkoppeling geëxploiteerd door glastuinders; energetische en economische effecten.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. f 40,00
- 95-1 Out, P.G. en J.J.G. Breuer, 1995 – Effect van gecoat glas op de lichttransmissie en het energieverbruik van tuinbouwkassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 103 pp. f 45,00
- 95-3 Feenstra, F., Gigler, J.K., Mol, R.M.de en A.H. Bosma, 1995 – Logistiek bij de inzameling van biomassa.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 44 pp. f 40,00
- 95-6 Breemhaar, H.G. en A. Bouman, 1995 – Oogsten en schonen van voor de akkerbouw nieuwe, oliehoudende gewassen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 28 pp. f 35,00
- 95-7 Telle, M.G. en P. Knies, 1995 – Verschillen in elektriciteitsverbruik op Friese melkveebedrijven.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 33 pp. f 30,00
- 95-8 Derikx, P.J.L., Aarnink, A.J.A., Hoeksma, P. en H.C. Willers, 1995 – Vermindering van ammoniakemissie uit mest door een vloeibare afdeklaag = Reduction of ammonia emission from animal slurries by a liquid top layer.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 55 pp. f 45,00
- 95-12 Hoeksma, P., Ogink, N.W.M., Derikx, P.J.L. en G.W.M. Willems, 1995 – Bemonstering van drijfmest in transportwagens.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 35 pp. f 35,00

De rapporten kunt u schriftelijk bestellen door overmaking van het genoemde bedrag op Postbanknummer 3514771 ten name van IMAG-DLO te Wageningen, onder vermelding van het rapportnummer.

Reports must be ordered by transferring the appropriate amount (in Dutch Guilders) to the IMAG-DLO account, no. 3514771, at the Postbank, Wageningen, quoting the relevant report number(s)