Ing. A.T.M. Verhoeven
Ing. F.L.K. Kempkes
Ing. N.J.A. van der Velden

Publikatie 4.137

WARMTE/KRACHT-INSTALLATIES IN DE GLASTUINBOUW

Gebruiksrendementen en dekkingsgraden

April 1995



SIGN: L26-4.137
EX. NO B
MLV:

Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO)
Instituut voor Milieu en Agritechniek (IMAG-DLO)

557020

REFERAAT

WARMTE/KRACHT-INSTALLATIES IN DE GLASTUINBOUW; GEBRUIKSRENDEMENTEN EN DEKKINGSGRADEN
Verhoeven, A.T.M., F.L.K. Kempkes en N.J.A. van der Velden
Den Haag, Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO), 1995
Publikatie 4.137
ISBN 90-5242-280-X
76 p., 14 fig., 3 tab., 10 bijl., English summary

Voor de glastuinbouw is warmte/kracht één van de belangrijkste opties om energie te besparen. Het elektrisch en thermisch gebruiksrendement en de warmtedekkingsgraad zijn bepalend voor de mate van energiebesparing. In dit onderzoek zijn deze factoren onderzocht bij warmte/kracht-installaties van nutsbedrijven op glastuinbouwbedrijven.

De verschillen op de diverse bedrijven zijn groot. Het elektrisch gebruiksrendement is gemiddeld 33% en loopt uiteen van 28 tot 36%. Vooral de effectieve druk van de w/k-installatie en het gebruik in deellast heeft invloed op het elektrisch gebruiksrendement. Het thermisch gebruiksrendement is gemiddeld 53% en loopt uiteen van 47 tot 60%. Het gebruik van een rookgascondensor geeft een toename van 5 tot 7%.

De dekkingsgraad is gemiddeld 35% en loopt uiteen van 11 tot 66%. De grote verschillen worden veroorzaakt door het geïnstalleerd thermisch vermogen van de w/k-installatie per vierkante meter kas, de mate van CO_2-doseren en de warmte-intensiteit van het glastuinbouwbedrijf.

De energiebesparing met een w/k-installatie kan vooral worden verbeterd door een groter elektrisch vermogen, het gebruik van een rookgascondensor en een groter geïnstalleerd thermisch vermogen per vierkante meter kas.

Energie/Glastuinbouw/Warmte-kracht/Total Energy/Energiebesparing/Milieu/ Verwarming/CO_2-emissie/Meerjarenafspraak

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Verhoeven, A.T.M.

Warmte/kracht-installaties in de glastuinbouw :
gebruiksrendementen en dekkingsgraden / A.T.M. Verhoeven,
F.L.K. Kempkes en N.J.A. van der Velden. - Den Haag :
Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO). - Fig., tab. -
(Publikatie / Landbouw-Economisch Instituut (LEI-DLO) ; no. 4.137)
Met samenvatting in het Engels.
ISBN 90-5242-280-X
NUGI 835
Trefw.: energieverbruik ; glastuinbouw.

Overname van de inhoud toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

INHOUD

		Blz.
WOORD VOORAF		5
SAMENVATTING		7
SUMMARY		11
1.	INLEIDING	15
2.	METHODE	18
	2.1 Opzet van het onderzoek	18
	2.2 Verwachte relaties	19
	2.3 Bedrijfskeuze	27
	2.4 Gegevensverzameling	28
	2.4.1 Periodieke gegevens	28
	2.4.2 Incidentele gegevens	31
3.	MEETRESULTATEN	33
	3.1 Inleiding	33
	3.2 Gebruiksrendementen	33
	3.3 Dekkingsgraad	34
	3.4 Overige meetresultaten	36
4.	RELATIES	39
	4.1 Inleiding	39
	4.2 Verschillen in elektrisch gebruiksrendement	39
	4.3 Verschillen in thermisch gebruiksrendement	43
	4.4 Verschillen in dekkingsgraad	46
5.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	54
	5.1 Conclusies	54
	5.2 Aanbevelingen	55
LITERATUUR		57

		Blz.
BIJLAGEN		59
Bijlage 1	Begrippenlijst	60
Bijlage 2	Schatting warmteproduktie van de ketel en berekeningswijze dekkingsgraad	62
Bijlage 3	Berekeningswijze elektrisch, thermisch en totaal gebruiksrendement van de w/k-installatie	65
Bijlage 4	Berekeningswijze CO_2-intensiteit	66
Bijlage 5	Effectieve druk van de w/k-installatie	68
Bijlage 6	Jaargebruiksrendementen en elektriciteitsverbruik van de w/k-installaties per bedrijf	69
Bijlage 7	Draaiuren, starts, draaiuren per start, gebruik in deellast en elektrisch vermogen van de w/k-installaties per bedrijf	70
Bijlage 8	Dekkingsgraad, specifiek thermisch vermogen w/k-installatie, warmte-intensiteit, CO_2-intensiteit en inhoud van de warmte-opslagtank per bedrijf	71
Bijlage 9	Statistische informatie analyse-resultaten	72
Bijlage 10	Verklarende variabelen voor de dekkingsgraad, uitgezet in figuren	74

WOORD VOORAF

De produktie van tuinbouwgewassen onder glas gaat samen met het verwarmen van de kassen. Hiervoor is veel energie nodig. In het kader van het energiebesparingsbeleid is tussen de Nederlandse overheid en de Nederlandse glastuinbouw een meerjarenafspraak gemaakt, waarin een verbetering van de energie-efficiëntie centraal staat. De toepassing van warmte/kracht-installaties kan hieraan een belangrijke bijdrage leveren.

Om de technische en economische mogelijkheden van warmte/kracht-installaties in de glastuinbouw te beoordelen, is door LEI-DLO een onderzoek gestart dat bestaat uit de volgende fasen:

1. inventarisatie;
2. praktijkevaluatie technische prestaties;
3. contractevaluatie en;
4. bedrijfseconomische aspecten.

Fase 1 is in 1992 afgesloten. Fase 3 en 4 zijn momenteel in uitvoering. De voor u liggende rapportage is het produkt van fase 2 en is gezamenlijk uitgevoerd door IMAG-DLO en LEI-DLO, in opdracht van de Nederlandse onderneming voor energie en milieu (Novem). Dr.ing. J. Klimstra van de N.V. Nederlandse Gasunie heeft medewerking verleend bij de opzet en uitvoering van het project. In de begeleidingscommissie waren de volgende instanties vertegenwoordigd:

- Nederlandse onderneming voor energie en milieu (Novem);
- N.V. Nederlandse Gasunie;
- Landbouwschap;
- Projectbureau Warmte/Kracht en;
- EnergieNed.

Het onderzoek is uitgevoerd door A.T.M. Verhoeven (LEI-DLO) en F.L.K. Kempkes (IMAG-DLO). De verzameling van de periodieke gegevens is uitgevoerd door G.J.W.M. Nederpel en A.W. van Vliet (LEI-DLO). De projectleiding was in handen van N.J.A. van der Velden (LEI-DLO).

Naast dank aan de leden van de begeleidingscommissie is een woord van dank verschuldigd aan de deelnemende tuinders en de nutsbedrijven; zonder hun medewerking was het onderzoek niet mogelijk geweest.

De Directeur van het
Instituut voor Milieu en Agritechniek,

A.A. Jongebreur
Wageningen

De Directeur van het
Landbouw-Economisch Instituut,

L.C. Zachariasse
Den Haag

April 1995

SAMENVATTING

Inleiding

De Nederlandse overheid en de Nederlandse glastuinbouwsector hebben een meerjarenafspraak gemaakt, met de doelstelling een verbetering van de energie-efficiëntie (energiegebruik per eenheid produkt) met 50% over de periode 1980-2000. Bovendien wordt gestreefd naar een vermindering van de CO_2-uitstoot van 3 tot 5% in de periode 1989/90-2000. De toepassing van warmte/kracht-installaties (w/k-installaties) is één van de belangrijkste opties om energie te besparen en is daarmee een belangrijke stap op weg om de doelstelling van de meerjarenafspraak en de landelijke CO_2-doelstelling te halen.

Bij de produktie van elektriciteit wordt circa 40% van de energie in de brandstof omgezet in elektrische energie. De resterende 60% gaat als warmte verloren. Met een w/k-installatie wordt, naast de elektriciteit, ook een groot deel van de warmte nuttig gebruikt. De besparingen die met w/k-installaties behaald kunnen worden, worden bepaald door de (technische) prestaties van de installaties. Verwacht wordt dat er verschillen bestaan tussen de prestaties van verschillende typen w/k-installaties bij uiteenlopende bedrijfsomstandigheden.

Op de meeste glastuinbouwbedrijven wordt in de warmtebehoefte voorzien door een aardgasgestookte ketel. De warmtebehoefte varieert sterk en de maximale warmtebehoefte is maar gedurende korte tijd aanwezig. W/K-installaties worden vanwege de hoge investeringen ingezet voor de basislast van de warmtebehoefte van het glastuinbouwbedrijf.

Op veel glastuinbouwbedrijven wordt CO_2 gedoseerd, ter bevordering van de groei van het gewas. Hiervoor worden meestal de rookgassen van de gasketel gebruikt. De rookgassen van de w/k-installatie zijn hiervoor (nog) niet geschikt. Omdat bij de CO_2-produktie door de gasketel ook warmte vrijkomt, heeft de mate van CO_2-doseren invloed op de dekkingsgraad.

Doel en methode van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is het verkrijgen van kwantitatief inzicht in de prestaties van w/k-installaties van nutsbedrijven op basis van praktijkgegevens. Onder de prestaties worden verstaan het elektrisch gebruiksrendement, thermisch gebruiksrendement en de dekkingsgraad. Het *gebruiksrendement* is de verhouding tussen de output en de input van energie van een w/k-installatie gedurende een bepaalde periode. De *dekkingsgraad* is de mate waarin de w/k-installatie het tuinbouwbedrijf van warmte voorziet ten opzichte van de totale warmtevraag van het bedrijf.

Daarnaast is inzicht gewenst in de factoren die van invloed zijn op deze prestaties, waardoor mogelijke verbeteringen gekwantificeerd worden en schattingen gemaakt kunnen worden van de prestaties van nieuw te plaatsen w/k-installaties.

Het onderzoek heeft plaatsgevonden op 28 glastuinbouwbedrijven met een w/k-installatie van het nutsbedrijf, waarop een warmtemeter is geïnstalleerd. Om de gebruiksrendementen van de w/k-installaties en de dekkingsgraad van de bedrijven te bepalen en de verschillen te verklaren, is een groot aantal gegevens van de w/k-installaties en de bedrijven verzameld. Dit heeft plaatsgevonden gedurende een jaar en wel van medio juni 1993 tot medio juni 1994. Voor de bepaling van de hoeveelheid gedoseerde CO_2 op het bedrijf is meetapparatuur geïnstalleerd.

Meetresultaten

Het geïnstalleerd elektrisch vermogen van de w/k-installaties op de 28 bedrijven in het onderzoek is gemiddeld 413 kW_e per bedrijf en loopt uiteen van 150 tot 990 kW_e. Het thermisch vermogen is gemiddeld 707 kW_{th} en loopt uiteen van 260 tot 1.480 kW_{th}. Het specifiek thermisch vermogen van de w/k-installaties (thermisch vermogen per m^2) is gemiddeld 37 W_{th} per m^2 kas, met een spreiding van 10,7 tot 62,5 W_{th} per m^2.

Het gemiddeld aantal draaiuren per w/k-installatie is 5.175 met een minimumaantal van 3.304 en een maximum van 6.727 uren. Dit betekent dat de w/k-installaties in het onderzoek jaarlijks gemiddeld 59% van de tijd in gebruik zijn. Het aantal draaiuren per start is gemiddeld 7,8 en varieert van 2,7 tot 16,5.

In het onderzoek hebben 18 bedrijven een warmte-opslagtank die aangesloten is op de w/k-installatie. De opslagcapaciteit loopt uiteen van 36 tot 166 m^3 water per ha kas. Het gemiddelde bedraagt 80 m^3 per ha. Van de warmte-opslagtanks zijn er 15 zowel op de w/k-installatie als de ketel aangesloten. De overige drie warmte-opslagtanks zijn alleen aangesloten op de w/k-installatie.

De warmte-intensiteit is gemiddeld 1,87 GJ per m^2 kas per jaar, en loopt uiteen van 1,31 tot 2,52 GJ per m^2 kas; dit komt overeen met 41 tot 80 m^3 aardgasequivalenten per m^2 kas. Aan dit onderzoek nemen zes bedrijven deel die geen CO_2-doseren. De gemiddelde hoeveelheid gedoseerde CO_2 op de 22 bedrijven die wel CO_2-doseren is 13,7 m^3 aardgas per m^2 per jaar en varieert van 2,4 tot 28,1 m^3 aardgas per m^2 per jaar.

Gebruiksrendementen

Het *totaal jaargebruiksrendement* varieert sterk. De beste installatie bereikte een totaal gebruiksrendement van 93% op onderwaarde (o.w.), terwijl de slechtste installatie een rendement van 79% behaalt. Het gemiddelde gebruiksrendement van alle installaties bedroeg 86%.

Het *elektrisch jaargebruiksrendement* is gemiddeld 33% en loopt uiteen van 28 tot 36%. De verschillen in elektrisch gebruiksrendement

worden grotendeels bepaald door de effectieve druk van de motor en het wel of niet in deellast gebruiken van de w/k-installatie.

De effectieve druk van de motor hangt samen met het vermogen, het gebruik van een turbo, het aantal cilinders en het toerental van de motor en loopt uiteen van 5,5 tot 13,3 bar. Een installatie met een effectieve druk van 10 bar heeft een elektrisch rendement dat 2 procentpunten hoger ligt dan een installatie met een effectieve druk van 6 bar. Het gebruik van een installatie in deellast resulteert in een lager elektrisch rendement van gemiddeld 1 tot 2 procentpunt. Verwacht wordt dat het elektrisch gebruiksrendement ook beïnvloed wordt door het merk/type en het aantal draaiuren per start van de w/k-installatie. Deze samenhang kan echter niet worden gekwantificeerd met de beschikbare gegevens.

Het eigen elektriciteitsverbruik van de w/k-installatie is gemiddeld 1,8% van de bruto-elektriciteitsproduktie en loopt uiteen van 1,5% tot 2,8%. De verschillen worden veroorzaakt door de aanwezige randapparatuur, zoals pompen en ventilatoren. Het gebruik van meer frequentiegeregelde randapparatuur brengt waarschijnlijk een lager eigen elektriciteitsverbruik met zich mee.

Het *thermisch jaargebruiksrendement* is gemiddeld 53% en varieert van 47 tot 60%. De verschillen in thermisch gebruiksrendement worden voor een beperkt deel verklaard door het elektrisch gebruiksrendement en het gebruik van een condensor.

Een hoger elektrisch gebruiksrendement van 1 procentpunt geeft een lager thermisch gebruiksrendement van 0,4 procentpunt. Het gebruik van een condensor geeft een toename van gemiddeld 5 tot 7 procentpunten in het thermisch gebruiksrendement. Dit houdt in dat er door het gebruik van een condensor meer warmte wordt afgegeven aan het verwarmingssysteem van het tuinbouwbedrijf.

Dekkingsgraden

De gemiddelde dekkingsgraad op alle bedrijven bedraagt 35% en loopt uiteen van 11 tot 66%. Dit aandeel in de warmteproduktie door de w/k-installatie op het tuinbouwbedrijf is op de meeste bedrijven dus nog beperkt. De verschillen in dekkingsgraad hangen voor een groot deel samen met het thermisch geïnstalleerd vermogen per m^2 kas van de w/k-installatie, de warmte-intensiteit van het bedrijf en de CO_2-intensiteit van het bedrijf.

De effecten van deze drie variabelen op de dekkingsgraad mogen niet afzonderlijk in beschouwing worden genomen, omdat de hoogte van de ene variabele invloed heeft op het effect van de andere variabele. Een toename van de warmte-intensiteit en CO_2-intensiteit heeft een negatief effect op de dekkingsgraad. Dit negatieve effect is bij een hoog specifiek thermisch vermogen kleiner dan bij een laag specifiek thermisch vermogen. Ook een verhoging van de CO_2-intensiteit zal op een bedrijf met een lage warmte-intensiteit een grotere invloed op de dekkingsgraad tot gevolg hebben dan op een bedrijf met een hoge warmte-intensiteit. Een

verandering van het thermisch vermogen per m^2 kas heeft aanzienlijk meer effect op de dekkingsgraad dan een verandering van de CO_2-intensiteit en warmte-intensiteit.

Het gebruik van een warmte-opslagtank lijkt een beperkte positieve invloed te hebben op de dekkingsgraad. Het aantal starts van de w/k-installatie is veel lager op bedrijven waar een warmte-opslagtank is aangesloten op de w/k-installatie.

Aanbevelingen

Aanbevolen wordt de grootte van de w/k-installatie af te stemmen op de warmtevraag van het tuinbouwbedrijf. Door een groter vermogen per m^2 kas kan de dekkingsgraad en de te realiseren energiebesparing door de w/k-installatie worden vergroot. Daarnaast kan de dekkingsgraad worden verbeterd door minder CO_2 te doseren met de ketel. Dit kan door het gebruik van zuivere CO_2 en door middel van reiniging van de rookgassen van de w/k-installatie, zodat deze geschikt worden voor CO_2-dosering. Een warmte-opslagtank die aangesloten is op de w/k-installatie, kan het aantal starts en stops verminderen.

Het is van belang dat een installatie wordt gekozen met een hoog elektrisch en thermisch gebruiksrendement. Het elektrisch rendement kan worden verbeterd door gebruik te maken van een w/k-installatie met een groot elektrisch vermogen, de installatie niet te gebruiken in deellast en door beperking van het eigen elektriciteitsverbruik van de w/k-installatie. De aansluiting van een warmte-opslagtank op de w/k-installatie kan het gebruik in deellast tegengaan. Het eigen elektriciteitsverbruik kan worden verminderd door het gebruik van meer frequentie-geregelde randapparatuur.

Het thermisch rendement kan worden verbeterd door het gebruik van een rookgascondensor. Om de verschillen in het thermisch rendement verder te kunnen verklaren is nader onderzoek gewenst. Bij de optimalisatie van de energiebesparing met een w/k-installatie spelen naast technische aspecten ook bedrijfseconomische aspecten, zoals investeringen, onderhoud en energieprijzen, een rol. Hiervoor zou nader onderzoek verricht moeten worden.

SUMMARY

Introduction

Energy, especially in the shape of heat, is an important production factor in the Dutch greenhouse industry. The Dutch government and the Dutch greenhouse industry have made an agreement with the objective to improve the energy efficiency (use of energy per unit product) by 50% over the period 1980-2000. Furthermore, there is a national objective to reduce the CO_2 emission by 3 to 5% from '89/'90 levels by the year 2000. The use of cogenerators is one of the most important options to save energy and therefore an important step towards meeting the objective of the agreement and reaching the desired national CO_2 output.

During the production of electricity about 40% of the energy in the fuel is transformed into electric energy. The remaining part (60%) is wasted as heat. When a cogenerator is used in a greenhouse, the electricity, but also an important part of the heat, is put to good use. The savings of cogenerators are dependent on the technical achievements of the machines. It is expected that on the one hand there are differences in technical performance among the different types of cogenerators and on the other hand there are differences in performance between the different greenhouse holdings.

Purpose and method of the research

The purpose of this research is to obtain a quantitative insight into the achievements of cogenerators of public utilities by collecting practical data at the greenhouse holdings. By 'performance', the following is meant:

- electric efficiency;
- heat efficiency;
- percentage of cover.

The *efficiency* is the ratio between the output and the input of energy in a cogenerator in a specific period. The *percentage of cover* is that part of the heat that the cogenerator produces for the greenhouse holding. Besides this, insight is needed into the factors influencing the achievements, so possible improvements are quantified and estimations can be made of the achievements of cogenerators that will be placed.

Most of the greenhouse holdings have a natural gas boiler. The need for heat varies a lot and maximum heat demand in a greenhouse is only required for a short time. Cogenerators are used for the basic heat production because of the high investments.

Many greenhouse holdings produce CO_2 to stimulate plant growth. Most of the times the flue gasses of the gas boiler are used. The flue gasses of the cogenerators are not (yet) suited for CO_2 dosage. Besides the CO_2 production by the gas boiler, heat is also produced, so the amount of CO_2 dosage influences the percentage of cover.

To determine the efficiency of the cogenerator and percentage of cover of the greenhouse holdings, the Agricultural Economics Research Institute (LEI-DLO) collected many data from 28 glasshouse holdings during one year (from June 1993 to June 1994). To determine the greenhouse holding's CO_2 dosage, measuring instruments have been installed.

Measuring results

The average installed electric capacity of the cogenerators at the 28 holdings in the research is 413 kW_e per holding with a range from 150 to 990 kW_e. The average thermic capacity is 707 kW_{th} and runs between 260 and 1,480 kW_{th}. The average specific thermic capacity (thermic capacity per m^2) is 37 W_{th} per m^2 of greenhouse, with a range from 10.7 to 62.5 W_{th} per m^2.

The average number of production hours per cogenerator is 5,175 per year with a minimum of 3,304 and a maximum of 6,727 hours. This means that annually the cogenerators in the research are used 59% of the time. The average number of hours per start is 7.8 and ranges from 2.7 to 16.5 hours per start.

Eighteen greenhouse holdings have a heat storage tank that is connected to the cogenerator. The storage capacity varies from 36 to 166 m^3 per ha greenhouse. The average capacity is 80 m^3 per ha. Fifteen of the heat storage tanks are connected to the cogenerator and the boiler. The other three heat storage tanks are connected to the cogenerator only.

The average amount of heat needed in the greenhouse (heat intensity) is 1.87 GJ per m^2 of greenhouse per year and ranges from 1.31 to 2.52 GJ per m^2 of greenhouse; this corresponds to 41 to 80 m^3 natural gas per m^2 of greenhouse. Six of the holdings in this research do not dose CO_2. The average amount of CO_2 dosage at the 22 holdings that do dose CO_2 is 13.7 m^3 natural gas per m^2 per year and ranges from 2.4 to 28.1 m^3.

Efficiencies

The total year efficiency of the 28 cogenerators varies considerably. The best cogenerator achieves a total efficiency of 93% (caloric value: 31,65 MJ per m^3 natural gas), and the lowest-performing cogenerator achieves an efficiency of 79%. The average efficiency was 86%.

The average *electric efficiency* is 33% and ranges from 28 to 36%. The differences in electric efficiency are mainly caused by the effective pressure of the motor and the half-powered use of the cogenerator.

The effective pressure of the motor is linked up with the power, the turbo/intercooler, the number of cylinders and the revolutions per minute

of the motor and ranges from 5.5 to 13.3 bar. An installation with an effective pressure of 10 bar has an electric efficiency that is 2 percent points higher than for an installation with an effective pressure of 6 bar. The half-powered use of the installation results in a lower electric efficiency of nearly 2 percent points. The electric efficiency is expected to be also influenced by the type and the number of hours per start of the cogenerator. This relation cannot be quantified with the available data.

The average expenditure of electricity by the cogenerator is 1.8% of the gross electricity production and ranges from 1.5% to 2.8%. The differences are mainly caused by the present equipment, like pumps and fans. The use of more frequency-controlled equipment is linked up with a lower use of expenditure of electricity.

The average *thermic efficiency* is 53% and ranges from 47% to 60%. The differences in thermic efficiency are partly caused by the electric efficiency and the use of a flue gas condenser. A higher electric efficiency of 1 percent point decreases the thermic efficiency by 0.4% percent points. The use of a flue gas condenser increases the thermic efficiency by an average of 5 to 7 percent points. This means that by the use of a condenser more heat is thrown out to the heating system of the greenhouse holding.

Percentages of cover

The average percentage of cover for all holdings is 35% and ranges from 11 to 66%. This means that there is a limited use of heat production by the cogenerators for most greenhouse holdings. The difference in percentages of cover is mainly linked up with:

- the thermic installed capacity of the cogenerator per m^2 of greenhouse;
- the heat intensity of the greenhouse holding and;
- the CO_2 intensity of the greenhouse holding.

The effects of these three variables on the percentage of cover are linked up with each other, because the height of the one variable has an influence on the effect of the other variable. The increase of the heat intensity and the CO_2 intensity has a negative effect on the percentage of cover. This effect is smaller when there is a low specific thermic capacity. Also, the increase of the CO_2 intensity at a greenhouse holding with a low heat intensity results in a lower percentage of cover than at a greenhouse holding with a high heat intensity. A change in the thermic capacity per m^2 of greenhouse has a substantial effect on the percentage of cover, much more than a change in CO_2 intensity and heat intensity.

The use of a heat storage tank seems to have a restricted positive influence on the percentage of cover. The number of starts of the cogenerator is much lower at the holdings where a heat storage tank is connected to the cogenerator.

Recommendations

It is recommended to adapt the size of the cogenerator to the heat demand (heat intensity) of the greenhouse holding. A larger capacity per m^2 of greenhouse can increase the percentage of cover and the energy saving by cogenerators. Besides a larger thermic capacity of the cogenerator per m^2, the percentage of cover can be increased by dosing less CO_2 by the boiler. This is possible by using pure CO_2 and by cleaning the flue gas of the cogenerator, so they can be used for CO_2 dosage. Besides that, a heat storage tank, which is connected to the cogenerator, can decrease the number of starts and stops.

It is important to choose a cogenerator that has a high electric and thermic efficiency. The electric efficiency can be improved by using a cogenerator which has a large capacity, not using it in half-power, and by diminishing the cogenerator's use of electricity. The connection of a heat storage tank to the cogenerator can diminish the partial use of the cogenerator. The use of electricity can be diminished by using more frequency-controlled equipment, like pumps and fans.

The thermic efficiency can be improved by using a flue gas condenser. To clear up the differences in thermic efficiency, more research is needed. Saving energy by a cogenerator not only depends on the technical performance, but also on the aspects pertaining to business economics, like investments, maintenance and energy prices. More research is needed to find this out.

1. INLEIDING

Energie, vooral in de vorm van warmte, is een belangrijke produktiefactor in de Nederlandse glastuinbouw. In het kader van het energiebesparingsbeleid is tussen de Nederlandse overheid en de Nederlandse glastuinbouw de meerjarenafspraak (mja-glastuinbouw) gemaakt. Deze afspraak heeft als doelstelling een verbetering van de energie-efficiëntie (energiegebruik per eenheid produkt) met 50% over de periode 1980-2000. Bovendien wordt gestreefd naar een vermindering van de CO_2-uitstoot van 3 tot 5% over de periode 1989/90-2000. Het gebruik van warmte/kracht-installaties (w/k-installaties) is één van de belangrijkste opties om op landelijk niveau energie te besparen en is daarmee een belangrijke stap op weg naar een verbetering van de energie-efficiëntie en een reductie van de CO_2-uitstoot (Van der Velden et al., 1995).

Door de elektriciteitscentrales in Nederland wordt circa 40% van de energie in de brandstof omgezet in elektrische energie. De resterende 60% gaat verloren als afvalwarmte. Met een warmte/kracht-installatie wordt, naast de elektriciteit, ook een deel van de warmte nuttig gebruikt, waarbij een totaalrendement van circa 80 tot 90% te behalen is. Bij gebruik in de glastuinbouw kan de elektriciteit op het bedrijf worden aangewend of aan het openbare net geleverd worden. De warmte wordt gebruikt om de kassen te verwarmen. Bij de gecombineerde produktie van elektriciteit en warmte wordt de brandstof efficiënter verbruikt dan bij gescheiden opwekking. Hierdoor wordt op landelijk niveau brandstof bespaard. Daarom is warmte/kracht een belangrijke optie voor het realiseren van de doelstelling van de mja-glastuinbouw.

De glastuinbouw neemt op jaarbasis ongeveer 10% van het totale Nederlandse aardgasverbruik voor haar rekening. In totaal neemt energie circa 15% van de produktiekosten in de glastuinbouw in beslag. Besparing van energie door middel van warmte/kracht is goed voor het milieu en kan, door middel van de tariefstelling van de warmte, ook de bedrijfskosten verlagen.

De besparingen door w/k-installaties worden bepaald door de (technische) prestaties van de installaties. Uit onderzoek bij andere energiebesparingsopties is gebleken dat deze afhankelijk zijn van het type installatie en de bedrijfsomstandigheden waaronder deze gebruikt worden (Nawrocki et al., 1991 en Van der Sluis et al., 1992). Verwacht wordt dat er verschillen bestaan tussen de prestaties van verschillende typen w/k-installaties bij uiteenlopende bedrijfsomstandigheden.

Het doel van dit onderzoek is op basis van praktijkgegevens kwantitatief inzicht te verkrijgen in de prestaties die w/k-installaties van nutsbedrijven leveren. Onder de prestaties wordt verstaan het elektrisch- en thermisch jaargebruiksrendement en de dekkingsgraad. Daarnaast is kwantita-

tief inzicht gewenst in de factoren die van invloed zijn op deze prestaties. Hierdoor kunnen mogelijke verbeteringen gekwantificeerd worden en kunnen schattingen gemaakt worden van de prestaties die nieuw te plaatsen w/k-installaties kunnen leveren.

Uit de inventarisatie naar gebruik van warmte/kracht-installaties in de glastuinbouw (Van Leeuwen et al., 1992) is gebleken dat er verschillende installaties voorkomen op verschillende bedrijven. Enkele verschillen in installaties zijn: het elektrisch en thermisch vermogen en het gebruik van een turbo/intercooler of condensor. Glastuinbouwbedrijven verschillen onder andere in omvang, mate van CO_2-doseren, warmtebehoefte, gebruik van een warmte-opslagtank en verwarmingssysteem. Daarnaast wordt er onderscheid gemaakt tussen w/k-installaties in beheer van tuinders en van nutsbedrijven. Indien een tuinder overgaat tot aanschaf van een w/k-installatie wordt dit meestal gedaan om te voorzien in de eigen elektriciteitsvraag (assimilatiebelichting) op het bedrijf. Deze installaties worden meestal gebruikt in periodes waarin er behoefte is aan elektriciteit. Daarnaast resulteert het gebruik van de vrijkomende warmte in energiebesparing. De installaties die beheerd worden door nutsbedrijven worden meestal in werking gesteld bij warmtebehoefte op het tuinbouwbedrijf en de elektriciteit wordt over het algemeen geleverd aan het openbare net. W/K-installaties van tuinders worden dus voornamelijk geplaatst op bedrijven met een hoog elektriciteitsverbruik terwijl installaties van nutsbedrijven geplaatst kunnen worden op alle glastuinbouwbedrijven met een redelijke warmtevraag. Dit laatste is bij een veel groter aantal bedrijven het geval, waardoor verwacht mag worden dat w/k-installaties van nutsbedrijven in de toekomst van groter belang kunnen worden voor het realiseren van energiebesparing door de glastuinbouw.

Begin 1992 is een totaal elektrisch w/k-vermogen van ruim 200 MW in gebruik in de glastuinbouw (Van Leeuwen et al., 1992). Hiervan is circa 70% in beheer van de tuinder en 30% van de nutsbedrijven. Volgens informatie van het Projectbureau Warmte/Kracht is dit begin 1994 ruim 400 MW, waarvan zowel de tuinder als de nutsbedrijven circa 50% in beheer hebben. De toename is dus vooral tot stand gekomen bij de installaties van de nutsbedrijven.

Op de meeste glastuinbouwbedrijven wordt in de warmtebehoefte voorzien door een aardgasgestookte ketel. De warmtebehoefte varieert gedurende een etmaal en een jaar sterk en de maximale warmtebehoefte is maar gedurende korte tijd aanwezig. W/K-installaties worden vanwege de hoge investeringen ingezet voor de basislast van de warmtebehoefte van het glastuinbouwbedrijf.

Op veel glastuinbouwbedrijven wordt, ter bevordering van de groei van de gewassen, CO_2 gedoseerd. Hiervoor worden meestal de rookgassen van de gasketel gebruikt. De rookgassen van de w/k-installatie zijn hiervoor (nog) niet geschikt. Omdat bij de CO_2-produktie door de gasketel ook warmte vrijkomt, heeft de mate van CO_2-doseren invloed op de dekkingsgraad.

In het vervolg van deze publikatie wordt de methode van onderzoek uiteengezet (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 worden de meetresultaten beschreven. De relaties met de factoren die hierop van invloed zijn worden behandeld in hoofdstuk 4. De conclusies en aanbevelingen tenslotte zijn te vinden in hoofdstuk 5. In bijlage 1 is een begrippenlijst opgenomen.

2. METHODE

2.1 Opzet van het onderzoek

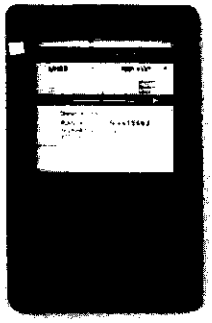
In dit onderzoek zijn gegevens verzameld op glastuinbouwbedrijven met een w/k-installatie. Met behulp van die gegevens zijn de belangrijkste prestaties, te weten elektrisch en thermisch gebruiksrendement en de dekkingsgraad van de w/k-installatie over de periode van een geheel jaar in de praktijk bepaald. De volgende definities zijn gehanteerd:

- het *gebruiksrendement* is de verhouding tussen de output en de input van energie van een w/k-installatie gedurende een bepaalde periode. In dit onderzoek zijn dit de jaarrond geproduceerde hoeveelheid warmte en elektriciteit ten opzichte van de gebruikte hoeveelheid brandstof, in de vorm van aardgas. Dit alles onder praktijkomstandigheden. Alle genoemde gebruiksrendementen in dit rapport zijn bepaald op basis van de onderste verbrandingswaarde (o.w.) van het aardgas;
- de *dekkingsgraad* is de mate waarin de w/k-installatie het tuinbouwbedrijf van warmte voorziet ten opzichte van de totale warmteproduktie van het tuinbouwbedrijf.

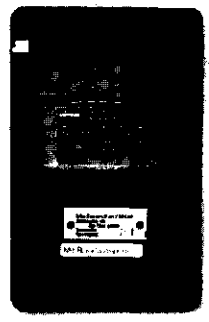
Het onderzoek betreft 28 glastuinbouwbedrijven met een w/k-installatie van een nutsbedrijf. Aanvankelijk werd met 32 bedrijven gestart. Vanwege langdurige storing van een w/k-installatie is een bedrijf uitgevallen. Een ander bedrijf is uitgevallen vanwege een afwijking in de warmtemeting. Daarnaast zijn twee bedrijven uitgevallen, wegens afwijkingen van de meetapparatuur. Gegevens van deze vier bedrijven zijn niet in het verslag opgenomen. De gegevensverzameling heeft plaatsgevonden over een aaneengesloten periode van één jaar, en wel van medio juni 1993 tot medio juni 1994.

Verwacht wordt dat er tussen de bedrijven verschillen bestaan in de genoemde prestaties van de w/k-installaties en dat deze verschillen veroorzaakt worden door de uiteenlopende bedrijfsomstandigheden en de variatie in eigenschappen van w/k-installaties. De oorzaken van de verschillen zijn geanalyseerd. De analyse heeft plaatsgevonden met (multiple) lineaire regressie-analyse.

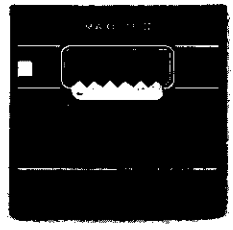
In het vervolg van dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens ingegaan op de verwachte oorzaken van de verschillen in prestaties, de keuze van de installaties en bedrijven voor het onderzoek en de gegevensverzameling op de bedrijven.



KWH EIGEN VERBRUIK



KWH METER AGGREGAAT



WARMTE METER

Het gebruiksrendement is de jaarrond geproduceerde hoeveelheid elektriciteit en warmte ten opzichte van de gebruikte hoeveelheid brandstof
Foto: Sandra Verhoeven

2.2 Verwachte relaties

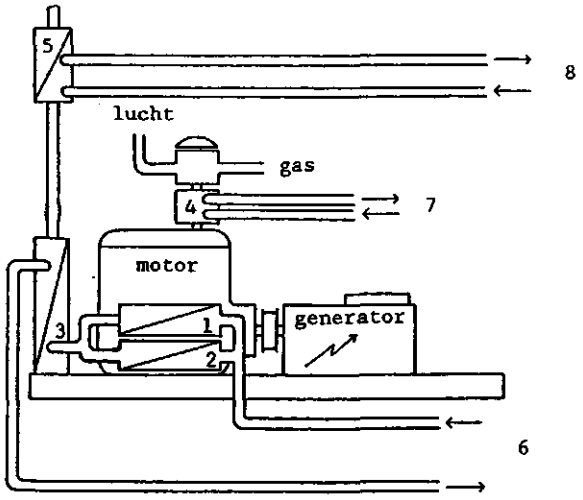
Dit onderzoek moet worden gezien in het kader van de energiebesparingsmogelijkheden in de glastuinbouw. De doelvariabelen, dit zijn de gebruiksrendementen en de dekkingsgraad, vertonen dan ook een direct verband met energiebesparing. Het aantal draaiuren heeft een minder directe relatie met de energiebesparing; een kleine w/k-installatie met veel draaiuren kan weinig energie besparen, terwijl een grote installatie met minder draaiuren meer energie kan besparen. De dekkingsgraad is het aandeel van de warmte van het glastuinbouwbedrijf dat in combinatie met elektriciteit, door de w/k-installatie wordt geproduceerd. De dekkingsgraad heeft daardoor een directe relatie met de landelijke energiebesparing.

Zowel het verschil in type w/k-installatie enerzijds, als verschillen in de glastuinbouwbedrijven anderzijds, zijn van invloed op de prestaties. Verschillen in type w/k-installatie in relatie tot de prestaties kunnen zijn:

- de effectieve druk (specifieke arbeid per cilinder) van de motor (zie uitleg bij figuur 2.2);
- het geïnstalleerd thermisch vermogen van de w/k-installatie per m^2 kas;
- een uitvoering met of zonder rookgascondensor;
- de thermische aansluiting (aantal waterzijdige aansluitingen en wijze van aansluiting);
- het gebruik in vollast en/of in deellast en;
- het gebruik van een warmte-opslagtank in combinatie met de w/k-installatie.

Verschillen in soorten glastuinbouwbedrijven kunnen zijn:
- de bedrijfsomvang (m^2 kas);
- de mate van CO_2-dosering met de gasketel (CO_2-intensiteit);
- de warmtebehoefte van het bedrijf (warmte-intensiteit) en;
- het verwarmingssysteem.

In dit onderzoek is gekeken naar de belangrijkste factoren die de prestaties van w/k-installaties beïnvloeden. In het vervolg van deze paragraaf wordt ingegaan op de verwachte oorzaken van de verschillen in gebruiksrendement en dekkingsgraad. De verwachte relaties zijn weergegeven in drie relatieschema's (figuur 2.2, 2.3 en 2.4). Bovendien wordt aandacht besteed aan de nodige achtergrondinformatie. In figuur 2.1 is een schematische voorstelling van de w/k-installatie afgebeeld.



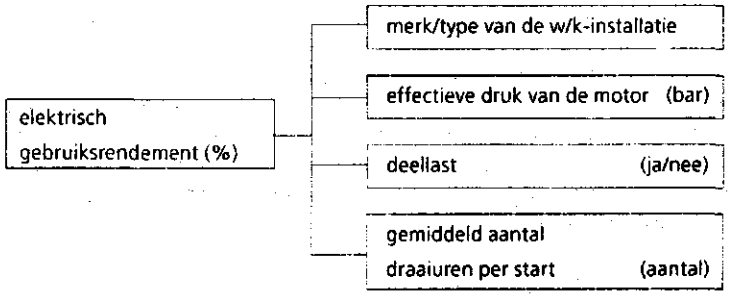
1 = motorkoeling
2 = oliekoeling
3 = rookgaskoeling
4 = turbo/intercooler
5 = condensor
6 = waterzijdige aansluiting 1
7 = waterzijdige aansluiting 1 of 2
8 = waterzijdige aansluiting 2

Figuur 2.1 Schematische voorstelling van een w/k-installatie

De w/k-installaties in het onderzoek hebben 1 of 2 waterzijdige aansluitingen (wza). Bij één wza komt de warmte op één plaats beschikbaar en bij twee wza's op twee plaatsen. Indien er twee waterzijdige aansluitingen zijn, is de eerste wza altijd aangesloten op de motor-, olie- en rookgaskoeler. De tweede wza kan aangesloten zijn op alleen de turbo/intercooler of op zowel de turbo/intercooler als de rookgascondensor. Het aantal waterzijdige aansluitingen hoeft dus niet gelijk te zijn aan het aantal verwarmingsnetten in de kas. Het is bijvoorbeeld goed mogelijk dat de w/k-installatie één wza heeft, en dat in de kas drie verwarmingsnetten aanwezig zijn.

Verschillen in elektrisch gebruiksrendement

Naar verwachting hebben vier verklarende variabelen invloed op het elektrisch rendement, namelijk merk/type, de effectieve druk van de motor, deellast en draaiuren per start (figuur 2.2).



Figuur 2.2 Relatieschema voor de verklaring van de verschillen in elektrisch gebruiksrendement van de w/k-installaties

- *Merk/type van de w/k-installatie*

De verschillende motoren (merk/type) zijn ontworpen vanuit een andere achtergrond. Hierbij valt te denken aan motoren die ontworpen zijn voor het gebruik in vrachtwagens, waar gewichtsaspecten en goede prestaties bij variabele toerentallen van belang zijn. Ook is het mogelijk dat het ontwerp heeft plaatsgevonden voor stationaire motoren, waarbij de motor voor één bepaald toerental is geoptimaliseerd, zodat daar het hoogste asrendement wordt bereikt. Daarnaast kunnen keuzes die tijdens het ontwerp gemaakt worden in verband met milieu-aspecten invloed hebben op het asrendement, denk hierbij bijvoorbeeld aan de luchtovermaat in verband met de NO_x-uitstoot. Per merk/type worden hierbij keuzes gemaakt, zodat de verwachting is dat het merk/type van de w/k-installatie van invloed is op het elektrisch gebruiksrendement.

- *Effectieve druk van de motor*

De effectieve druk is een maat voor de specifieke arbeid per cilinder van de motor. Een grotere effectieve druk kan leiden tot een hoger elektrisch rendement. Een turbo/intercooler kan worden toegepast om de effectieve druk van de w/k-installatie te verhogen. De verbrandingslucht wordt gecomprimeerd in de cilinder gebracht, waardoor meer verbrandingslucht aanwezig is en er dus meer brandstof toegevoerd kan worden. Dit geeft een hoger vermogen bij dezelfde wrijvingsverliezen en daardoor een hoger asrendement van de motor. De gecomprimeerde lucht kan eerst gekoeld worden door een intercooler. De warmte die hierbij vrijkomt wordt, evenals de andere warmte die vrijkomt bij een w/k-installatie, gebruikt voor verwarming van de kas.

- *Deellast*

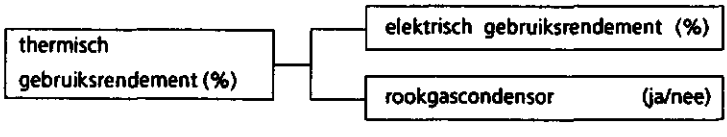
Indien een w/k-installatie in deellast draait, zullen verliezen een relatief groter aandeel vormen in het brandstofverbruik. Bovendien neemt het aandeel van het eigen verbruik aan elektrische energie toe bij het draaien in deellast. Hierdoor zal het elektrisch gebruiksrendement dalen.

- *Gemiddeld aantal draaiuren per start*

Iedere start en stop heeft draaitijd (dus ook brandstofverbruik) van de motor tot gevolg, waarbij de generator geen elektriciteit levert, zoals bijvoorbeeld tijdens het synchroniseren van de generator en kouddraaien van de motor. Bij een lager aantal draaiuren per start zal daardoor het elektrisch gebruiksrendement dalen.

Verschillen in thermisch gebruiksrendement

Naar verwachting hebben twee verklarende variabelen invloed op het thermisch rendement, namelijk het elektrisch gebruiksrendement en het gebruik van een rookgascondensor (figuur 2.3).



Figuur 2.3 Relatieschema voor de verklaring van de verschillen in thermisch gebruiksrendement van de w/k-installaties

- *Elektrisch gebruiksrendement*

De brandstof die in elektrische energie is omgezet, kan niet meer voor warmteproduktie worden aangewend. Bij een hoger elektrisch gebruiksrendement is daarom een lager thermisch rendement te verwachten.

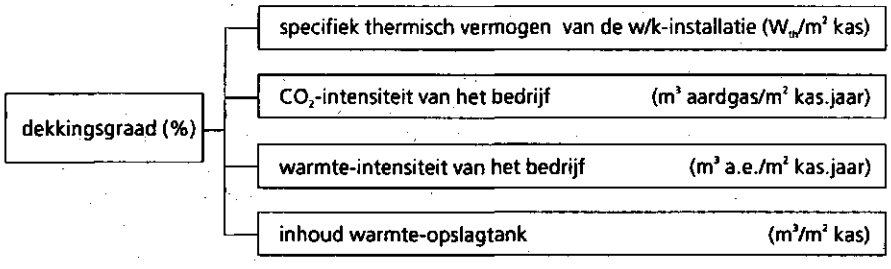
Het gebruik in deellast en het gemiddeld aantal draaiuren per start worden primair gezien als verklarende variabelen voor het elektrisch ge-

bruiksrendement. Het elektrisch rendement is een verklarende variabele voor het thermisch rendement, dus worden deze variabelen niet in beschouwing genomen bij de analyse van het thermisch rendement.

- *Rookgascondensor*
  Een condensor koelt de rookgassen uit de w/k-installatie verder af. Indien afkoeling plaatsvindt tot onder het dauwpunt, vindt er condensatie van waterdamp in de rookgassen plaats. Hierbij komt condensatiewarmte vrij. Door het afkoelen van de rookgassen en de condensatie van de waterdamp zal het thermisch rendement toenemen.

Verschillen in dekkingsgraad

Naar verwachting hebben vier variabelen invloed op de dekkingsgraad, namelijk het specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie (vermogen per m^2 kas), de CO_2-intensiteit, de warmte-intensiteit en de inhoud van de warmte-opslagtank (figuur 2.4).



Figuur 2.4 Relatieschema voor de verklaring van de verschillen in dekkingsgraad tussen de bedrijven

- *Specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie*
  Het specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie heeft waarschijnlijk een grote invloed op de dekkingsgraad. Hoe groter het geïnstalleerde thermisch vermogen van de w/k-installatie per m^2 kas, des te meer warmte de w/k-installatie kan leveren om aan de totale warmtevraag van het bedrijf te voldoen.

- *CO_2-intensiteit*
  De hoeveelheid CO_2 die gedoseerd wordt, uitgedrukt in m^3 aardgas per m^2 kas per jaar, waarvan de rookgassen worden gebruikt voor CO_2-dosering, is de CO_2-intensiteit. De CO_2-produktie met de ketel gaat gepaard met de produktie van warmte, wat het gebruik van de w/k-installatie zal reduceren. Het doseren van CO_2 kan plaatsvinden in perioden met zowel hoge als lage warmtevraag. In perioden met een hoge warmtevraag, wordt naast de w/k-installatie ook de ketel ingeschakeld voor de

warmteproduktie en heeft het doseren van CO_2 geen invloed op de dekkingsgraad. In perioden met een lage warmtevraag is het gebruik van de ketel voor warmteproduktie niet nodig, maar wordt de ketel wel ingeschakeld om CO_2 te doseren. Dit gaat ten koste van het gebruik van de w/k-installatie en resulteert in een lagere dekkingsgraad (figuur 2.5). In dit onderzoek is de 'totale' CO_2-intensiteit gemeten, dat wil zeggen de CO_2-produktie door de ketel indien er wel en geen warmtevraag is.

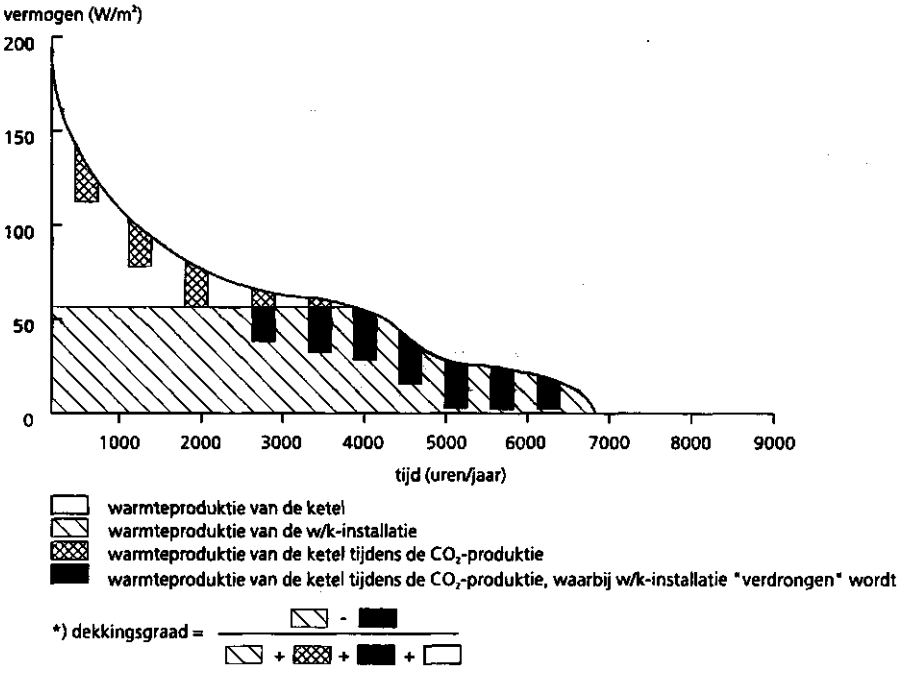
- *Warmte-intensiteit*

De jaarrond geproduceerde hoeveelheid warmte voor het tuinbouwbedrijf, uitgedrukt in m^3 aardgasequivalenten (a.e.) per m^2 kas per jaar, is de warmte-intensiteit. De warmte-intensiteit is afhankelijk van de teelttemperatuur, teeltduur enzovoort. In figuur 2.5 is een voorbeeld van een jaarbelastingduurcurve gegeven. De oppervlakte onder de curve is de totale warmtebehoefte van het tuinbouwbedrijf. Het gearceerde gedeelte is de w/k-warmte, het niet gearceerde is ketelwarmte. De genoemde factoren beïnvloeden de vorm van de jaarbelastingduurcurve sterk (Breuer, 1987). Op de meeste glastuinbouwbedrijven wordt in de warmtebehoefte voorzien door een aardgasgestookte ketel. De warmtebehoefte varieert gedurende een etmaal en een jaar sterk en de maximale warmtebehoefte is maar gedurende korte tijd aanwezig. W/K-installaties worden ingezet voor de basislast van de warmtebehoefte van het glastuinbouwbedrijf.

Indien op hetzelfde bedrijf een hogere warmte-intensiteit gerealiseerd wordt, wordt de vorm van de lijn anders en zal de lijn plaatselijk op een hoger niveau liggen. In ieder geval wordt de oppervlakte onder de lijn groter. Hierdoor moet de ketel in verhouding meer warmte leveren, en wordt het aandeel van w/k-warmte minder; het vermogen van de w/k-installatie is immers beperkt op dit bedrijf. De absolute hoeveelheid geleverde warmte door de w/k-installatie kan bij een hogere warmte-intensiteit wel hoger zijn.

- *Inhoud van de warmte-opslagtank*

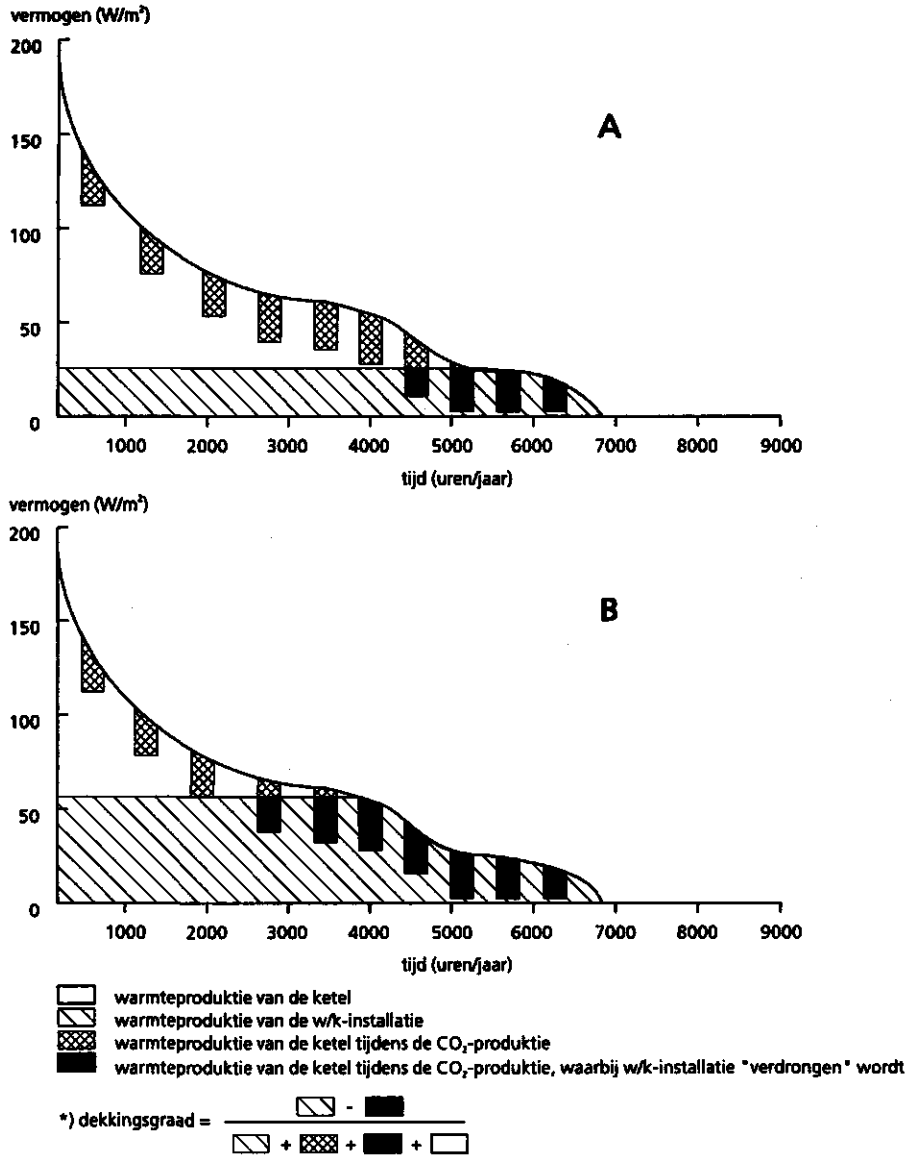
Het primaire doel van het koppelen van de w/k-installatie aan een warmte-opslagtank is het voorkomen van pendelen (aan- en uitslaan van de installatie), waardoor de onderhoudskosten kunnen dalen. Daarnaast kan de aansluiting van de w/k-installatie op de warmte-opslag het gebruik in deellast voorkomen. Indien de warmte, geproduceerd door de w/k-installatie tijdens perioden zonder warmtevraag op het bedrijf of tijdens het CO_2-doseren met de gasketel, opgeslagen wordt in de warmte-opslagtank dan zal de dekkingsgraad hoger kunnen worden. Daarnaast moet een volle warmte-opslagtank ook "geleegd" worden. Het is mogelijk dat het legen van de warmte-opslagtank het gebruik van de w/k-installatie verhindert, zodat het netto-effect op de dekkingsgraad toch beperkt is.



Figuur 2.5 Voorbeeld van een jaarbelastingduurcurve

Het is aannemelijk dat de verklarende variabelen specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie, warmte-intensiteit en CO_2-intensiteit gezamenlijk in beschouwing worden genomen. Hiervoor worden deze termen als een quotiënt genoteerd. De uitleg hiervoor is als volgt:

- verhouding specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie en CO_2-intensiteit van het bedrijf;
  het effect van de CO_2-intensiteit op de dekkingsgraad is mede afhankelijk van de hoogte van het geïnstalleerd thermisch vermogen. Indien het specifiek thermisch vermogen hoger is, zal de w/k-installatie eerder "verdrongen" worden als er CO_2 met de ketel geproduceerd wordt. Een voorbeeld hiervan is opgenomen in figuur 2.6.a. en 2.6.b. Bij een groter specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie (2.6.b.), heeft CO_2-dosering gedurende een langere periode invloed op de dekkingsgraad dan bij een kleiner specifiek thermisch vermogen (2.6.a);



*Figuur 2.6 Voorbeeld van een jaarbelastingduurcurve, met de invloed op de dekkingsgraad *) van een klein specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie (A), een groot specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie (B) en CO_2-dosering*

- verhouding specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie en warmte-intensiteit:
  het effect van de warmte-intensiteit op de dekkingsgraad is mede afhankelijk van de hoogte van het geïnstalleerde vermogen van de w/k-installatie. Bij een groter specifiek thermisch vermogen is de invloed van een veranderende warmte-intensiteit kleiner dan bij een kleiner specifiek thermisch vermogen. Hierdoor moet het specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie altijd in relatie worden gezien met de warmte-intensiteit van het bedrijf;
- verhouding CO_2-intensiteit en warmte-intensiteit:
  een verhoging van de CO_2-intensiteit heeft op een bedrijf met een lage warmte-intensiteit meer effect op de dekkingsgraad dan op een bedrijf met een hogere warmte-intensiteit. Indien bijvoorbeeld de CO_2-dosering wordt verhoogd van 10 naar 20 m^3 aardgas per m^2 kas, heeft dit bij een bij een warmte-intensiteit van 40 m^3 meer invloed op de dekkingsgraad dan bij een warmte-intensiteit van 70 m^3 a.e. per m^2 kas.

2.3 Bedrijfskeuze

Voor de bedrijfskeuze zijn bedrijven gezocht met een w/k-installatie van het nutsbedrijf. Uitsluitend installaties die van warmtemeters voorzien zijn, zijn hierbij in beschouwing genomen. Daarnaast zijn enkele overige selectiecriteria opgesteld waaraan de bedrijven moeten voldoen om geschikt te zijn voor het onderzoek. Deze criteria zijn:

- op het bedrijf mag geen gebruik gemaakt worden van assimilatiebelichting. De assimilatielampen geven warmte af; de bijdrage van deze warmte aan de warmtebehoefte van het bedrijf is moeilijk te kwantificeren;
- gedurende de periode van onderzoek mogen er geen grote veranderingen op het bedrijf of aan de w/k-installatie plaatsvinden;
- indien twee w/k-installaties op het bedrijf geplaatst zijn, moeten deze van gelijk vermogen zijn. Dit is onder andere van belang voor het analyseren van de relaties tussen het elektrisch gebruiksrendement en het elektrisch vermogen (effectieve druk) van de w/k-installatie;
- op de w/k-installatie moet meetapparatuur (warmte-, gas-, en elektriciteitsmeters) aanwezig zijn. Het meetbereik van de meetapparatuur moet afgestemd zijn op het bereik van de te meten variabelen. Daarnaast is bij de selectie gelet op de plaatsing van de warmtemeters, om op voorhand grote meetfouten te voorkomen.

Na bovenvermelde selectie zijn 32 bedrijven geschikt bevonden voor het onderzoek. De verdeling van de bedrijven in groepen is weergegeven in tabel 2.1. Het aantal bedrijven in de groepen is niet gelijk verdeeld. Voor het onderzoek zouden gelijke groepen beter zijn geweest, maar van groep 3 en 4 waren niet meer bedrijven beschikbaar. De verwachting is

dat met de genoemde aantallen inzicht kan worden verkregen in de verschillen in gebruiksrendementen en de dekkingsgraad. Deze groepsindeling is gemaakt om een beeld te krijgen van de verschillende bedrijven in het onderzoek. In de analyse (hoofdstuk 4) is deze groepsindeling niet gehanteerd.

Tabel 2.1 Aantal bedrijven per groep, ingedeeld naar aanwezigheid van turbo/intercooler en condensor en naar aantal waterzijdige aansluitingen

Groep	Kenmerken per groep			
	turbo/ *intercooler*	condensor	aantal wza a)	aantal *bedrijven*
1	nee	nee	1	6
2	ja	nee	1	17
3	ja	nee	2	4
4	ja	ja	2	5

a) wza = waterzijdige aansluitingen

2.4 Gegevensverzameling

Om de gebruiksrendementen en de dekkingsgraad te bepalen en de verschillen tussen de bedrijven en w/k-installaties te verklaren, zijn gegevens op praktijkbedrijven verzameld. Dit betreft zowel periodieke als eenmalige gegevens van de w/k-installaties en bedrijven. De periodieke gegevens verschillen gedurende het jaar en zijn vierwekelijks verzameld. Aan het eind van iedere vierwekelijkse periode zijn de meterstanden opgenomen door de tuinder en telefonisch opgevraagd door LEI-DLO. De prestaties van de w/k-installatie zijn vervolgens steeds per periode bepaald, waardoor onverwachte of veranderende resultaten direct waargenomen en gecontroleerd zijn. Hierdoor is inzicht verkregen in de bijzonderheden per bedrijf.

De incidentele gegevens zijn gedurende het jaar over het algemeen niet aan veranderingen onderhevig en zijn daarom eenmalig verzameld.

2.4.1 Periodieke gegevens

De volgende gegevens zijn per vier weken op de bedrijven verzameld:

Het gasverbruik van de ketel en de w/k-installatie

Het gasverbruik is gemeten met de aanwezige gasmeter en gecorrigeerd naar normaal m^3 aardgas. Bij de volumeherleidingsmeters (EVHI) is

gecorrigeerd voor de calorische waarde, bij de conventionele meters is het gasverbruik gecorrigeerd voor temperatuur, druk en calorische waarde. De correctiefactoren zijn verstrekt door de nutsbedrijven. Indien er op het bedrijf aardgas wordt gebruikt voor privé-doeleinden, stomen of gietwaterontsmetting, zijn de gasverbruiken hiervoor gecorrigeerd. In sommige gevallen is er een hoofdgasmeter en een daarachter geplaatste w/k-gasmeter aanwezig en is het gasverbruik van de ketel het verschil tussen deze twee meters.

Aan de hand van het gasverbruik van de ketel wordt de warmteproduktie van de ketel berekend (Nawrocki, 1991). Met behulp van de warmteproduktie van de ketel en de w/k-installatie is bepaald hoeveel warmte er totaal op het bedrijf geproduceerd is. Het aandeel van de warmte dat door de w/k-installatie geleverd wordt is de dekkingsgraad. De schatting van de warmteproduktie van de ketel en de berekeningswijze van de dekkingsgraad is uiteengezet in bijlage 2.

De elektriciteitsproduktie van de w/k-installatie

De hoeveelheid geproduceerde elektriciteit is geregistreerd door de aanwezige elektriciteitsmeters. Voor de elektriciteitsproduktie van de w/k-installatie wordt uitgegaan van de netto-elektriciteitsproduktie. Daarbij is de elektrische consumptie van de randapparatuur (zoals ventilatoren en pompen), indien nodig, in mindering gebracht op de bruto-elektriciteitsproduktie. De elektrische consumptie van de randapparatuur wordt in paragraaf 2.4.2 behandeld. Aan de hand van de netto-elektriciteitsproduktie en het gasverbruik van de w/k-installatie is het elektrisch gebruiksrendement van de w/k-installatie bepaald. De berekening hiervan is uiteengezet in bijlage 3.

De warmteproduktie van de w/k-installatie

De hoeveelheid door de w/k-installatie geproduceerde warmte is geregistreerd door de aanwezige warmtemeter(s). Met de warmteproduktie en het gasverbruik van de w/k-installatie is het thermisch gebruiksrendement van de w/k-installatie bepaald. De berekening van het thermisch gebruiksrendement is uiteengezet in bijlage 3. Bij zes bedrijven is in de periode van teeltwisseling de warmtemeter enkele weken stilgezet door het nutsbedrijf. Deze perioden zijn in het onderzoek niet meegenomen.

De warmte-intensiteit van het bedrijf

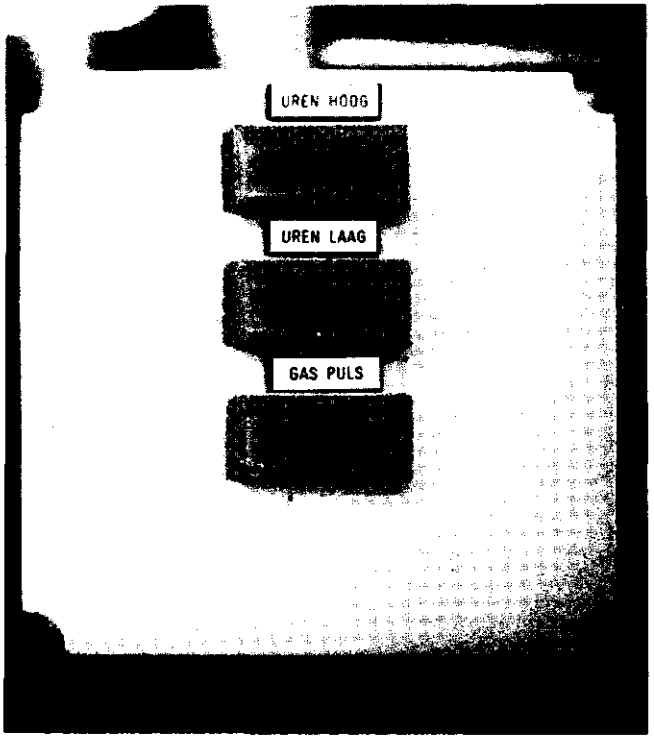
De dekkingsgraad is bepaald op basis van de totale warmte-intensiteit van het bedrijf. De warmte-intensiteit is de som van de warmteproduktie van de ketel en de w/k-installatie.

Het aantal draaiuren en het aantal starts van de w/k-installatie

Bij de bedrijven zijn de draaiuren en het aantal starts van de w/k-installatie opgenomen. Door het ontbreken van de benodigde telwerken, is het aantal starts bij een vijftal bedrijven niet geregistreerd. Deze bedrijven zijn in beginsel niet in de analyse van het elektrisch gebruiksrendement meegenomen.

De mate van CO_2-doseren met de ketel (= CO_2-intensiteit)

Op de meeste glastuinbouwbedrijven wordt CO_2 gedoseerd. Hiervoor worden meestal de rookgassen van de gasketel gebruikt. Om de hoeveelheid CO_2 te bepalen die door de ketel wordt geproduceerd, is meetapparatuur geplaatst. De totale CO_2-intensiteit, zowel in perioden met als zonder benutting van de warmte, is gemeten. De wijze waarop de CO_2-intensiteit is bepaald, wordt uiteengezet in bijlage 4. Het doseren van zuivere CO_2 is buiten beschouwing gelaten.



Meetkastje CO_2-intensiteit
Foto: Sandra Verhoeven

2.4.2 Incidentele gegevens

Naast de periodieke gegevens is een groot aantal incidentele gegevens van de w/k-installatie en het bedrijf verzameld. Dit betreft de volgende gegevens:

Vermogen van de w/k-installatie

Het elektrisch vermogen van de w/k-installatie is gemeten. Dit heeft plaatsgevonden met de aanwezige elektriciteitsmeters en een tijdmeting, gedurende een periode waarin de w/k-installatie op vollast in gebruik was. Het resultaat van de meting is gecontroleerd met de opgave van de nutsbedrijven. Deze wijkt weinig af van de meting. Het thermisch vermogen van de w/k-installatie is opgevraagd bij de nutsbedrijven.

Indien er twee w/k-installaties op het bedrijf aanwezig zijn, is het elektrische vermogen gelijk (selectiecriterium, zie paragraaf 2.3). Bij de analyse van de verschillen in elektrisch gebruiksrendement is de effectieve druk een verklarende variabele. Het vermogen van één installatie is dan genomen. Het specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie is een verklarende variabele voor de dekkingsgraad. Deze is, in het geval dat er twee installaties op het bedrijf voorkomen, bij elkaar opgeteld en uitgedrukt in W per m^2 kas.

Effectieve druk van de w/k-installatie

Op basis van het gemeten vermogen is de effectieve druk van de w/k-installatie berekend. De berekeningswijze is uiteengezet in bijlage 5.

Oppervlakte bedrijf

De kas-oppervlakte is per bedrijf gemeten. Dit is gedaan om het elektrisch en thermisch geïnstalleerd vermogen, de CO_2-intensiteit, warmte-intensiteit, en andere variabelen per m^2 kas te bepalen.

Informatie over de gasketel

Om de warmteproduktie van de gasketel te schatten is het vermogen, de gebruiksduur, de isolatiedikte en het type condensor van de ketel geïnventariseerd. Ook het warm of koud zijn van het expansievat is geïnventariseerd.

Met deze gegevens kunnen de warmteverliezen van de ketel worden geschat. De schatting van de warmteproduktie van de ketel is uiteengezet in bijlage 2.

Inhoud en aansluiting van de warmte-opslagtank

De inhoud van de aanwezige warmte-opslagtank die aangesloten is op de w/k-installatie, is bepaald. Bovendien is geïnventariseerd of de warmte-opslagtank tevens is aangesloten op de gasketel.

Elektriciteitsverbruik randapparatuur

De elektriciteitsproduktie van de w/k-installatie wordt in de praktijk netto of bruto geregistreerd. Bij energiebesparing gaat het om de netto-produktie. Bij een netto-registratie wordt de door de w/k-installatie geproduceerde elektriciteit verminderd met het elektriciteitsverbruik dat nodig is voor de randapparatuur van de w/k-installatie. De randapparatuur bestaat voornamelijk uit pompen en ventilatoren. Bij een bruto-registratie van de elektriciteitsproduktie wordt de opgewekte elektriciteit gemeten.

Bij dit onderzoek zijn installaties betrokken die de bruto- of netto-elektriciteitsproduktie registreren. Om deze installaties te kunnen vergelijken moet er een omrekening worden gemaakt van bruto naar netto. Daartoe is op alle deelnemende bedrijven een inventarisatie gemaakt van de aanwezige randapparatuur en het geïnstalleerde vermogen van deze apparatuur. Met behulp van zowel deze gegevens als die van w/k-installaties waar het elektriciteitsverbruik van de randapparatuur gemeten wordt, is het elektriciteitsverbruik van de installaties, met alleen bruto-elektriciteitsmeting, geschat. Op basis hiervan heeft voor de installaties waarvan de bruto elektriciteitsproduktie gemeten wordt, omrekening plaatsgevonden naar netto-elektriciteitsproduktie. Het eigen elektriciteitsverbruik van de w/k-installaties zal bij de meetresultaten worden uitgedrukt in een percentage van de bruto-elektriciteitsproduktie.

3. MEETRESULTATEN

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de meetresultaten behandeld. Als eerste komen de gebruiksrendementen aan bod, gevolgd door de dekkingsgraad. In de laatste paragraaf zijn de overige meetresultaten opgenomen.

In tabel 2.1 is de groepsindeling en het aantal bedrijven per groep weergegeven. Vanwege storing van een w/k-installatie en afwijking van meetapparatuur zijn vier bedrijven uitgevallen (paragraaf 2.1).

De meetresultaten worden behandeld in dit hoofdstuk. In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op de analyse van de verschillen in de meetresultaten.

3.2 Gebruiksrendementen

Elektrisch gebruiksrendement

Het elektrisch gebruiksrendement (η_e) op jaarbasis per bedrijf is vermeld in bijlage 6. Het elektrisch gebruiksrendement van alle w/k-installaties is gemiddeld 33% en varieert van 28 tot 36%; een verschil van 8 procentpunt.

Thermisch gebruiksrendement

Het thermisch gebruiksrendement (η_{th}) op jaarbasis per bedrijf is vermeld in bijlage 6. Het thermisch gebruiksrendement van alle w/k-installaties is gemiddeld 53%, en varieert van 47 tot 60%; een verschil van 13 procentpunt.

Totaal gebruiksrendement

Het totaal gebruiksrendement op jaarbasis van alle w/k-installaties in het onderzoek is gemiddeld 86% en varieert van 79 tot 93%; een verschil van 14 procentpunt. Dit is weergegeven in bijlage 6. Dit betekent dat onder praktijkomstandigheden 79 tot 93% van de brandstof, door de w/k-installatie wordt omgezet in warmte en elektriciteit.

In tabel 3.1 zijn de gemiddelde gebruiksrendementen van alle bedrijven in de vier groepen vermeld. De kenmerken per groep staan weergegeven in tabel 2.1. Het gemiddeld elektrisch gebruiksrendement van w/k-installaties zonder turbo/intercooler is 31% en met turbo/intercooler 34%.

Tabel 3.1 Gemiddelde meetresultaten van alle w/k-installaties van het elektrisch, thermisch en totaal gebruiksrendement op jaarbasis en het aantal bedrijven per groep

Groep	Aantal bedrijven	Gebruiksrendement (% o.w.)				
		elektrisch		thermisch		totaal
1	6	31	31	52)		83
2	17	34)		52)	52	86
3	2	32)	34	53)		85
4	3	33)		57	57	90

Bron: LEI-DLO, 1995.

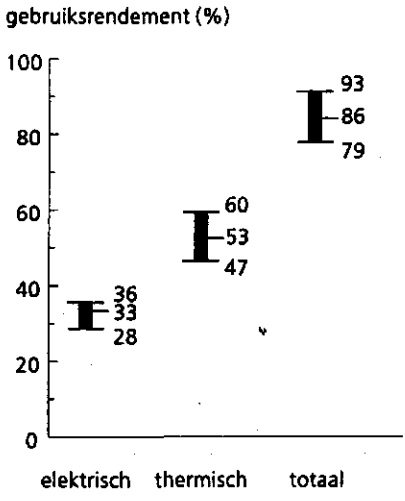
Het thermisch gebruiksrendement is in de situatie zonder condensor gemiddeld 52% en in de situatie met condensor 57%. Verdere conclusies moeten aan deze tabel nog niet worden verbonden, er zijn immers nog meer verschillen tussen de bedrijven en w/k-installaties. De verschillen in gebruiksrendementen en dekkingsgraad worden geanalyseerd in hoofdstuk 4.

Thermisch gebruiksrendement en waterzijdige aansluitingen

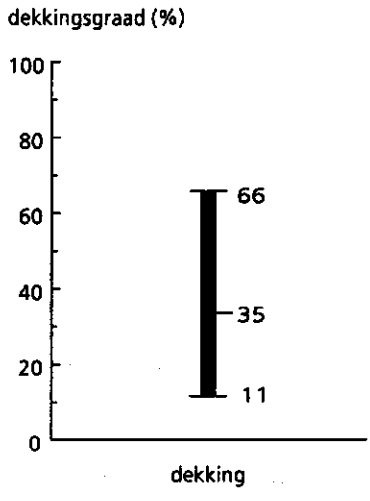
De w/k-installaties in het onderzoek hebben 1 of 2 waterzijdige aansluitingen (wza). Bij 1 wza wordt de warmte uit de w/k-installatie op één plaats afgegeven aan het verwarmingssysteem van het tuinbouwbedrijf en bij 2 wza op twee plaatsen (zie ook figuur 2.1). Bij twee waterzijdige aansluitingen wordt door de eerste wza de warmte van de motor-, olie- en rookgaskoeler onttrokken, de tweede wza onttrekt de warmte van de turbo/intercooler (groep 3) of van zowel de turbo/intercooler als de rookgascondensor (groep 4). Om inzicht te krijgen in de warmte-afgifte per wza, is per wza het thermisch gebruiksrendement bepaald. Bij groep 3 is het gemiddeld thermisch rendement van de w/k-installaties 53%, waarvan gemiddeld 49 procentpunt warmte aan de eerste wza en 4 procentpunt aan de tweede wza wordt afgegeven. Bij groep 4 is het gemiddeld thermisch rendement 57%, waarvan gemiddeld 41 procentpunt van de warmte afgegeven wordt aan de eerste wza en 16 procentpunt aan de tweede wza.

3.3 Dekkingsgraad

De dekkingsgraad per bedrijf staat vermeld in bijlage 8. Bij de dekkingsgraad zijn de verschillen tussen de bedrijven groot. De gemiddelde dekkingsgraad op alle bedrijven in het onderzoek bedraagt 35%. De dekkingsgraad loopt uiteen van 11 tot 66%, dit is een verschil van 55 procent-



Figuur 3.1 Spreiding en gemiddelden van het elektrisch, thermisch een totaal jaargebruiksrendement van de onderzochte wlk-installaties



Figuur 3.2 Spreiding en gemiddelde van de dekkingsgraden op de onderzochte bedrijven



Het aandeel van de warmte uit de wlk-installatie in de totale warmteproduktie van het bedrijf is gemiddeld 35%
Foto: Sandra Verhoeven

punt. De verschillen in dekkingsgraad zijn groter dan de verschillen in gebruiksrendementen. Het aandeel in de warmteproduktie op het tuinbouwbedrijf is op de meeste bedrijven nog beperkt.

In figuur 3.1 zijn de spreiding en de gemiddelde waarden van de gerealiseerde gebruiksrendementen weergegeven. De spreiding en gemiddelde waarde van de dekkingsgraad is weergegeven in figuur 3.2.

3.4 Overige meetresultaten

Naast de gebruiksrendementen en dekkingsgraad zijn ook andere variabelen gekwantificeerd. Dit zijn het elektrisch en thermisch vermogen van de w/k-installatie, de effectieve druk van de motor, het eigen elektriciteitsverbruik, het aantal draaiuren, het aantal draaiuren per start van de w/k-installatie, de inhoud van de warmte-opslagtank en de warmte- en CO_2-intensiteit van het bedrijf. De meeste meetresultaten per bedrijf zijn vermeld in bijlage 6, 7 en 8.

Elektrisch en thermisch vermogen

Het geïnstalleerd elektrisch vermogen van de w/k-installaties is gemiddeld 413 kW_e en loopt uiteen van 150 tot 990 kW_e. Het thermisch vermogen is gemiddeld 707 kW_{th} en loopt uiteen van 260 tot 1.480 kW_{th}. Het specifiek thermisch vermogen van de w/k-installaties (thermisch vermogen per m^2) is gemiddeld 37 W_{th} per m^2 kas, met een spreiding van 10,7 tot 62,5 W_{th} per m^2.

Effectieve druk

De effectieve druk van de motor is gemiddeld 10,0 bar en loopt uiteen van 5,5 tot 13,3 bar.

Eigen elektriciteitsverbruik w/k-installatie

De netto-elektriciteitsproduktie wordt bepaald door de bruto-produktie minus het *eigen verbruik* van de w/k-installatie (zie paragraaf 2.4.2). Het eigen verbruik is gemiddeld 1,8% van de bruto-elektriciteitsproduktie en loopt uiteen van 1,5% tot 2,8%, afhankelijk van de aanwezige randapparatuur, zoals ventilatoren en intercooler-, koelwater- en c.v.-pompen. Het eigen verbruik van de bedrijven waar dit gemeten is, is weergegeven in bijlage 6.

Bij de inventarisatie van de elektrische randapparatuur zijn bij vergelijkbare installaties grote verschillen geconstateerd in het opgesteld elektrisch vermogen van de randapparatuur. Er is onderscheid gemaakt tussen elektrische randapparatuur dat een continu vermogen afneemt en elektrische randapparatuur dat frequentiegeregeld is. Het vast opgesteld elektrisch vermogen varieert van 1,2-24 W per kW elektrisch geïnstalleerd

vermogen. Bij de frequentie-geregelde randapparatuur varieert dit van 3,9-14 W per kW. Vanuit het oogpunt van energiebesparing is het beter om frequentie-geregelde apparatuur te installeren, omdat deze apparatuur alleen de elektrische energie opneemt die nodig is. Bij de w/k-installaties met veel frequentiegeregelde elektrische randapparatuur is het elektriciteitsverbruik wat lager dan bij de installaties waar meer elektrische randapparatuur met een vast opgesteld vermogen opgesteld staat.

Aantal draaiuren

Het gemiddeld aantal draaiuren per w/k-installatie is 5.175 met een minimumaantal van 3.304 en een maximum van 6.727 uren. Dit betekent dat de w/k-installaties jaarlijks gemiddeld 59% van de tijd in gebruik zijn.

In paragraaf 2.2. is al uiteengezet dat het aantal draaiuren geen directe relatie heeft met de energiebesparing. Dit wordt bevestigd door de meetresultaten. Enkele kleine w/k-installaties (met een specifiek thermisch vermogen van 20 W_{th} per m^2 of minder) met veel draaiuren (bedrijven 101, 102, 103; zie bijlage 7 en 8) hebben een lage dekkingsgraad. Bij deze bedrijven resulteert het gebruik van de w/k-installatie in een kleine energiebesparing.

Aantal draaiuren per start

Het aantal draaiuren per start is gemiddeld 7,8 en varieert van 2,7 tot 16,5. Opvallend is het verschil tussen de installaties met en zonder warmte-opslagtank. De bedrijven zonder warmte-opslagtank hebben gemiddeld 4,3 draaiuren per start en met warmte-opslagtank is dit 9,5.

Inhoud van de warmte-opslagtank

In het onderzoek hebben 18 bedrijven een warmte-opslagtank; de inhoud loopt uiteen van 36 tot 166 m^3 per ha kas. Het gemiddelde bedraagt 80 m^3 per ha. Van de warmte-opslagtanks zijn er 15 zowel op de w/k-installatie als de ketel aangesloten. De overige 3 warmte-opslagtanks zijn alleen aangesloten op de w/k-installatie.

Warmte-intensiteit

De warmte-intensiteit is gemiddeld 1,87 GJ per m^2 kas per jaar en loopt uiteen van 1,31 tot 2,52 GJ per m^2 kas; dit komt overeen met 41 tot 80 m^3 a.e. per m^2 kas. Het verschil in warmte-intensiteit is afhankelijk van de teelttemperatuur, de teeltduur, de mate van CO_2-dosering, het aanhouden van een minimum buis enzovoort.

CO_2-intensiteit

In dit onderzoek nemen zes bedrijven deel die geen CO_2 doseren. De gemiddelde CO_2-intensiteit op de 22 bedrijven die wel CO_2 doseren is 13,7 m^3 aardgas per m^2 per jaar en varieert van 2,4 tot 28,1 m^3 aardgas per m^2 per jaar.

4. RELATIES

4.1 Inleiding

De verwachte oorzaken van de verschillen in elektrisch en thermisch jaargebruiksrendement en dekkingsgraad zijn geanalyseerd. Er zijn bedrijven met bijzondere meetresultaten; indien deze bijzonderheden verklaard kunnen worden (bijvoorbeeld afwijkende meetapparatuur), zijn deze bedrijven buiten de analyse gehouden. De analyse is uitgevoerd met 28 bedrijven.

Het energiegebruik in de glastuinbouw is voor een groot deel afhankelijk van de buitentemperatuur. Deze verschilt van jaar tot jaar. Voor het gebruik van de relaties is het van belang te weten of we met een afwijkend jaar te maken hebben. Het niveau van de buitentemperatuur gedurende de meetperiode is daarom vergeleken met die van voorgaande jaren. Het aantal graaddagen in de periode medio juni 1993 - medio juni 1994 bedraagt 3.202 (stookgrens 18°C). Het gemiddelde aantal graaddagen per jaar over de periode 1961 t/m 1990 bedraagt 3.198. Het verschil bedraagt vier graaddagen. Gesteld kan dus worden dat de meetperiode niet afwijkt van een gemiddeld jaar.

4.2 Verschillen in elektrisch gebruiksrendement

De variabelen waarvan verwacht wordt dat ze invloed hebben op het elektrisch gebruiksrendement van de w/k-installatie zijn (paragraaf 2.2):

- het merk/type van de w/k-installatie;
- de effectieve druk van de w/k-installatie;
- het gebruik van de w/k-installatie in deellast en;
- het gemiddeld aantal draaiuren per start.

Uit de analyse blijkt dat het elektrisch gebruiksrendement statistisch betrouwbaar samenhangt met de effectieve druk en het gebruik in deellast van de w/k-installatie. De relatie tussen elektrisch gebruiksrendement en effectieve druk is niet lineair. Bij een grotere effectieve druk zal de invloed op het elektrisch gebruiksrendement afnemen. Daarom is het natuurlijk logaritme van de effectieve druk genomen. De relatie is weergegeven in de volgende vergelijking:

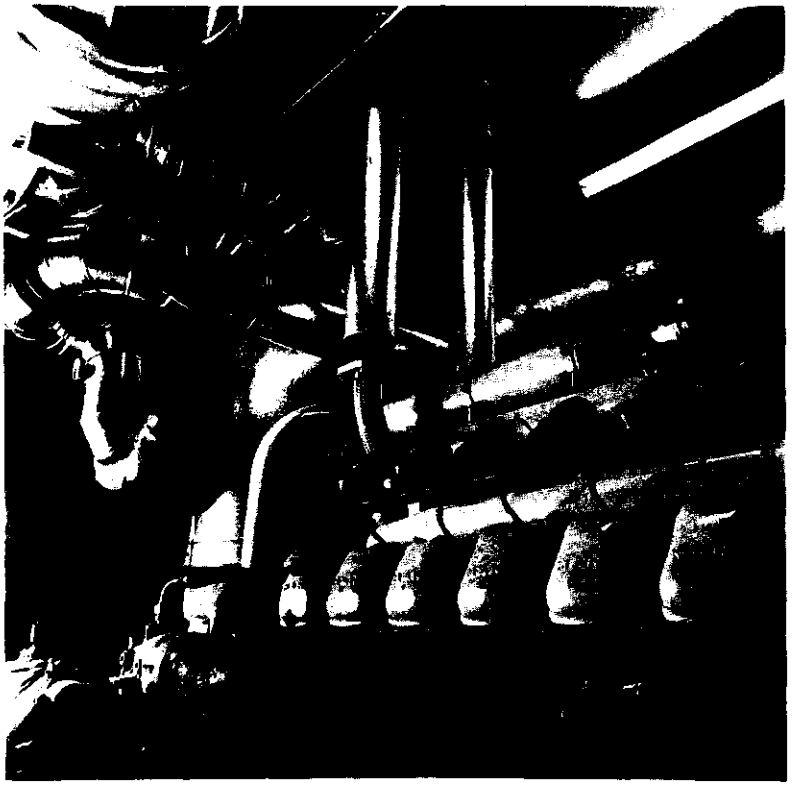
$\eta_e = 25,7 + 3,6 * \ln p_{eff} - 1,9 * \text{deellast}$ (vergelijking 1)

waarin:

η_e = elektrisch jaargebruiksrendement (%)
p_{eff} = de effectieve druk van de motor (bar)
deellast = gebruik van de w/k-installatie in deellast (ja/nee = 1/0)

De bijbehorende statistische informatie is gegeven in bijlage 9. Met deze vergelijking wordt 58% van de verschillen in elektrisch gebruiksrendement verklaard. De minimale en maximale waarden van de effectieve druk waarbinnen deze vergelijking gebruikt mag worden, is respectievelijk 5,5 en 13,3 bar.

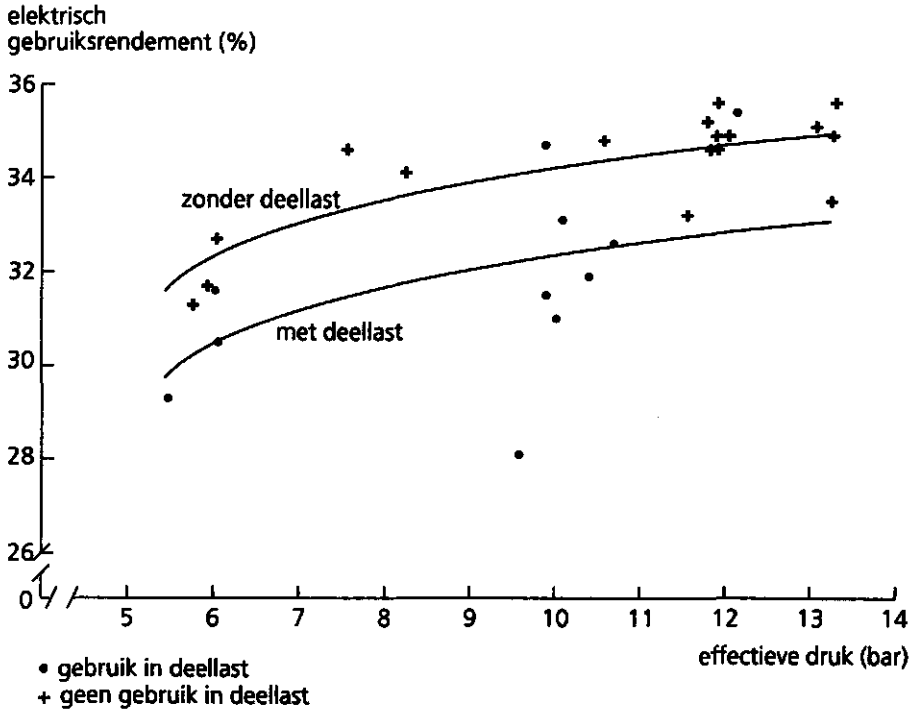
Zoals verwacht heeft de effectieve druk van de motor een positieve invloed op het elektrisch gebruiksrendement en heeft het gebruik in deellast een negatieve invloed.



De verschillen in elektrisch gebruiksrendement worden grotendeels bepaald door de eigenschappen van de motor en het wel of niet gebruiken in deellast
Foto: Vakblad voor de Bloemisterij

Figuur 4.1 geeft de samenhang tussen bovengenoemde variabelen en het elektrisch gebruiksrendement weer. Ook vergelijking 1 is erin weergegeven. Uit de figuur valt af te leiden dat bij een hogere effectieve druk, het elektrisch gebruiksrendement toeneemt. Daarnaast resulteert het gebruik in deellast in een lager elektrisch gebruiksrendement van 1,9 procentpunt.

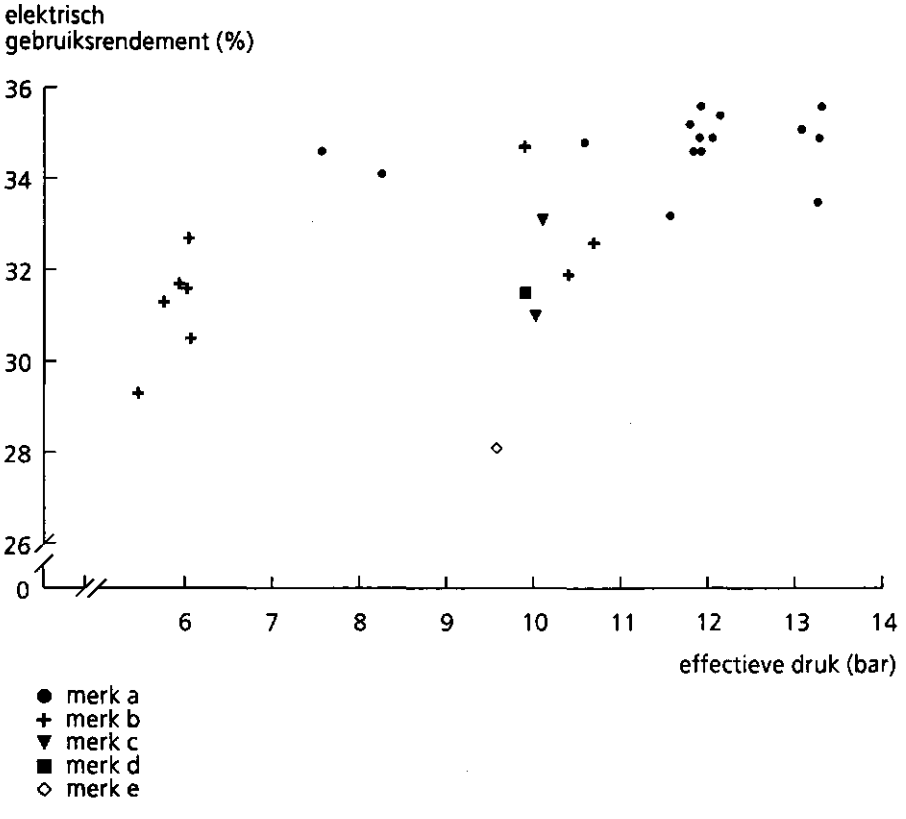
Met de effectieve druk en het gebruik in deellast wordt 58% van de verschillen verklaard. Waarschijnlijk zijn er nog enkele papameters die invloed hebben op het elektrisch gebruiksrendement. Verwacht werd dat het merk/type van de w/k-installatie en het aantal draaiuren per start invloedsfactoren zouden zijn (paragraaf 2.2). In figuur 4.2 (nagenoeg identiek aan figuur 4.1) is het merk van de w/k-installatie ten opzichte van de effectieve druk en het behaalde elektrisch gebruiksrendement weergegeven. De figuur laat zien dat ook het merk van de w/k-installatie van invloed is op het elektrisch gebruiksrendement, het merk hangt echter sterk



Figuur 4.1 Het elektrisch gebruiksrendement, de effectieve druk en het gebruik in deellast van de w/k-installaties

samen met de effectieve druk, bijvoorbeeld installaties van merk A hebben een hogere effectieve druk dan installaties van merk B en C. Door deze samenhang kan de invloed van de afzonderlijke merken op het elektrisch gebruiksrendement niet worden gekwantificeerd. Wel lijkt het erop dat het merk invloed heeft.

Ook de relatie tussen het aantal draaiuren per start en het elektrisch gebruiksrendement is niet te kwantificeren. Er blijkt samenhang te zijn tussen het aantal draaiuren per start en het gebruik van de w/k-installatie in deellast. Dit is te verklaren doordat de nutsbedrijven de w/k-installaties zo weinig mogelijk in deellast willen laten draaien om daarmee meer draaiuren per start te kunnen realiseren (vanwege onderhoudskosten). Indien de invloed van het merk en het aantal draaiuren per start op het elektrisch gebruiksrendement te kwantificeren was, dan zouden de verschillen waarschijnlijk voor meer dan 58% verklaard kunnen worden.



Figuur 4.2 Het elektrisch gebruiksrendement, de effectieve druk en het merk van de w/k-installaties

Uit figuur 4.1 en 4.2 is af te leiden dat er mogelijk een verband bestaat tussen het merk en het al dan niet draaien in deellast. Vrijwel alle w/k-installaties van merk A worden niet in deellast gebruikt en de installaties van merk C en D juist wel. Binnen één merk is daarom gekeken of het effect van deellast en effectieve druk ook aanwezig is. Deze analyse was alleen mogelijk bij merk B, omdat bij de overige merken geen (of slechts één) installatie in deellast wordt gebruikt. De analyse van het elektrisch gebruiksrendement van merk B resulteert in de volgende vergelijking:

$\eta_e = 23{,}8 + 4{,}6 * \ln p_{eff} - 1{,}4 *$ deellast (vergelijking 1.a.)

De bijbehorende statistische informatie is gegeven in bijlage 9. Met deze vergelijking wordt 43% van de verschillen *binnen merk B* in elektrisch gebruiksrendement verklaard.

Zowel in vergelijking 1 als in vergelijking 1a heeft de effectieve druk een positief effect en het gebruik in deellast een negatief effect op het elektrisch gebruiksrendement. Het effect van de effectieve druk is wat groter (4,6 in plaats van 3,6) en het effect van het gebruik in deellast wat kleiner (1,4 in plaats van 1,9) dan in vergelijking 1. De relaties in vergelijking 1 hebben wat betreft de effectieve druk echter betrekking op een groter traject. Bovendien is de intercorrelatie tussen effectieve druk en deellast in vergelijking 1a groter dan in vergelijking 1. Voor het effect van de effectieve druk wordt daarom uitgegaan van vergelijking 1. Voor het effect van het gebruik in deellast is vergelijking 1a wel te gebruiken, omdat het effect van het merk hier geen rol kan spelen.

Bovenstaande vergelijkingen kunnen worden gebruikt om een schatting te maken van het elektrisch gebruiksrendement van verschillende w/k-installaties. Uit de vergelijkingen volgt dat een w/k-installatie met een effectieve druk van 6 bar (bijvoorbeeld een installatie van 165 kW zonder turbo/intercooler) die niet gebruikt wordt in deellast, een elektrisch gebruiksrendement kan behalen van naar schatting 32%. Een w/k-installatie met een effectieve druk van 10 bar (bijvoorbeeld een installatie van 300 kW met turbo/intercooler) die niet gebruikt wordt in deellast, kan een elektrisch gebruiksrendement halen van 34%. Het gebruik in deellast resulteert in een lager elektrisch gebruiksrendement van 1 tot 2 procentpunt.

4.3 Verschillen in thermisch gebruiksrendement

De variabelen waarvan verwacht wordt dat ze invloed hebben op het thermisch gebruiksrendement zijn:
- het elektrisch gebruiksrendement van de w/k-installatie en;
- het gebruik van een rookgascondensor.

Uit de analyse blijkt dat het thermisch gebruiksrendement statistisch betrouwbaar samenhangt met zowel het gebruik van een condensor als

het elektrisch gebruiksrendement. De relatie is weergegeven in de volgende vergelijking:

$\eta_{th} = 65{,}5 - 0{,}41\ \eta_e + 5{,}1\ cond.$ (vergelijking 2)

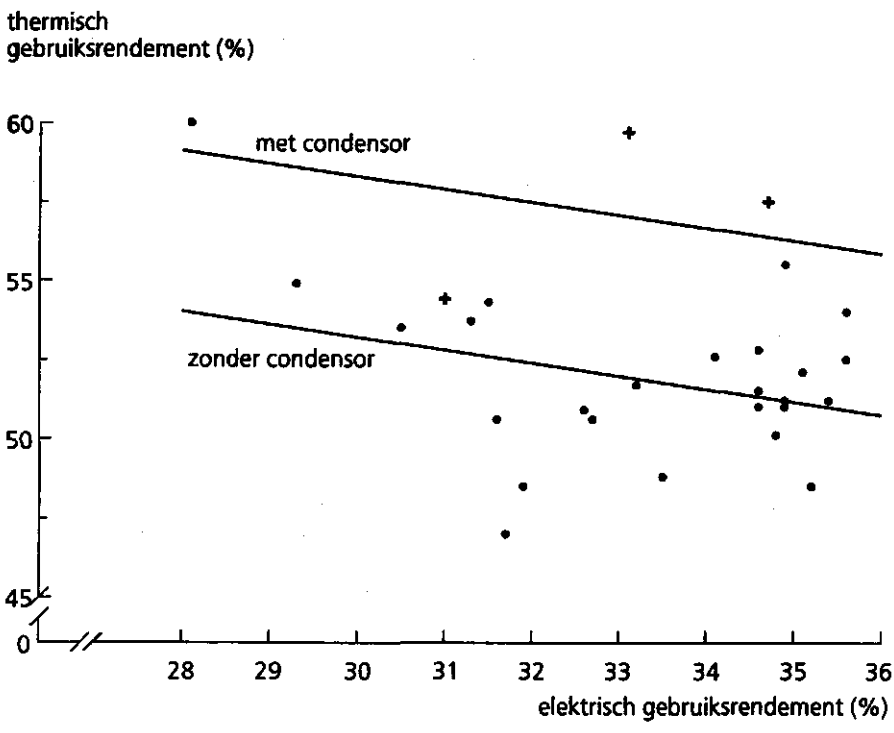
waarin:
η_{th} = thermisch jaargebruiksrendement (%);
η_e = elektrisch jaargebruiksrendement (%);
cond. = wel of geen condensor (1 of 0).

De bijbehorende statistische informatie is weergegeven in bijlage 9. Met deze regressievergelijking wordt 30% van de verschillen in thermisch gebruiksrendement verklaard. De minimale en maximale waarde van het elektrisch gebruiksrendement waarbinnen de vergelijking mag worden gebruikt, bedraagt: 28,1 - 35,6%.

Uit de vergelijking blijkt dat bij een toename van het elektrisch gebruiksrendement, het thermisch gebruiksrendement afneemt. Neemt het elektrisch gebruiksrendement 1 procentpunt toe, bijvoorbeeld van 33 naar 34%, dan neemt het thermisch gebruiksrendement gemiddeld af met 0,4 procentpunt. Het thermisch rendement neemt dus minder af dan de toename van het elektrisch rendement. Theoretisch is dit als volgt te verklaren. Het totaal rendement van een installatie kan nooit meer dan 100% bedragen. Uit hoofdstuk 3 is gebleken dat gemiddeld 33% elektriciteit en 53% warmte wordt geproduceerd, waardoor dus gemiddeld 14% verlies optreedt. Indien de belasting van de motor toeneemt, stijgt het elektrisch rendement en ook het totaal rendement, omdat de stralingsverliezen afnemen. De installatie produceert dan in verhouding meer warmte (Klimstra, 1991).

Het gebruik van een condensor op een w/k-installatie heeft een grotere invloed op het thermisch gebruiksrendement. In dit onderzoek was bij drie installaties een rookgascondensor in gebruik. Een condensor geeft een toename van gemiddeld 5 procentpunt van het thermisch gebruiksrendement. Dit stemt overeen met de gemiddelde waarden in tabel 3.1 (paragraaf 3.2). Het gemiddeld thermisch rendement zonder condensor bedraagt 52%; bij gebruik van een condensor wordt dit 57%. Door het gebruik van een condensor kan dus gemiddeld 10% (5%/52%) meer warmte aan de w/k-installatie worden onttrokken. Uit de meetresultaten blijkt verder dat het thermisch gebruiksrendement van één van de installaties met een rookgascondensor lager ligt dan van de andere twee. Indien dit ene bedrijf buiten beschouwing wordt gelaten blijkt de toename van het thermisch rendement door de condensor circa 7 procentpunt te zijn. Bij het uitzonderlijke bedrijf wordt er aan de eerste wza beduidend minder warmte afgegeven dan bij de andere twee bedrijven met een rookgascondensor. De oorzaken van deze verschillen zijn niet te verklaren. Het is daarom aannemelijk dat het gebruik van een rookgascondensor in een toename van het thermisch gebruiksrendement van 7 procentpunt kan resulteren.

Figuur 4.3 geeft de onderlinge samenhang tussen bovengenoemde variabelen weer. Ook vergelijking 2 is weergegeven. Uit de figuur blijkt dat bij een hoger elektrisch gebruiksrendement het thermisch gebruiksrendement wat lager is. Bovendien blijkt dat de installaties met een condensor een hoger thermisch gebruiksrendement hebben.



Figuur 4.3 Het thermisch gebruiksrendement uitgezet tegen het elektrisch gebruiksrendement en het gebruik van een condensor

De verschillen in thermisch gebruiksrendement worden voor 30% verklaard door het elektrisch gebruiksrendement en het gebruik van een condensor. Er blijven echter meer verschillen over dan verwacht. Andere parameters, die niet in beschouwing zijn genomen, hebben wellicht invloed op het thermisch gebruiksrendement. Dit kunnen zijn:

- *retourtemperatuur van het verwarmingswater uit de kas*
  Indien de retourtemperatuur van het verwarmingswater uit de kas op een hoger niveau ligt, kan er minder warmte worden afgegeven

door de w/k-installatie dan bij een lagere retourtemperatuur. Verschillen in retourtemperatuur tussen de bedrijven kunnen de verschillen in thermisch rendement verder verklaren;

- *vervuiling van de warmtewisselaars*
  De warmte die de w/k-installatie levert moet, met behulp van warmtewisselaars, worden overgebracht op het verwarmingswater in de kas. Indien de warmtewisselaars vervuild zijn, zal de warmte-overdracht minder goed plaats kunnen vinden. Vervuiling van de warmtewisselaars kan de verschillen in thermisch rendement daarom verder verklaren;
- *vaste verliezen van de w/k-installatie*
  De vaste verliezen van de w/k-installatie kunnen van invloed zijn op het thermisch gebruiksrendement. Hierbij moet gedacht worden aan de warmteverliezen van de motor aan de lucht in de omkasting, en de energie die verloren gaat bij het opwarmen en afkoelen van het motorblok bij het starten en stoppen van de motor. Hierbij maakt het een groot verschil of de luchttemperatuur in de omkasting 15°C of 30°C is. Tijdens de bedrijfsbezoeken is de indruk verkregen dat de temperatuur in de verschillende omkastingen sterk verschilt;
- *meetfout warmtemeters*
  Het is mogelijk dat met de warmtemeting een beperkte meetfout is gemaakt. Een warmtemeting is gevoelig voor meetfouten. De meetapparatuur is echter vooraf gecontroleerd op plaatsing, om op voorhand grote meetfouten te vermijden. Ook tijdens het onderzoek zijn installaties met afwijkende meetapparatuur uit het onderzoek gehaald. Het blijft echter mogelijk dat een beperkt deel van de verschillen in thermisch gebruiksrendement worden verklaard door meetfouten.

4.4 Verschillen in dekkingsgraad

Ook bij de dekkingsgraad zijn de variabelen, die waarschijnlijk invloed hebben op de verschillen in dekkingsgraad, geanalyseerd. Dit zijn:

- het specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie;
- de CO_2-intensiteit van het bedrijf;
- de warmte-intensiteit van het bedrijf en;
- de grootte van de warmte-opslagtank.

In bijlage 10 zijn de variabelen specifiek thermisch vermogen en warmte-intensiteit, specifiek thermisch vermogen en CO_2-intensiteit en CO_2-intensiteit en warmte-intensiteit tegen elkaar uitgezet in drie afzonderlijke figuren. Uit de figuren en de statistische analyse (bijlage 9) blijkt dat de variabelen grotendeels onafhankelijk zijn van elkaar. Ook de quotienten laten geen intercorrelatie zien.

Bij de analyse wordt een relatie met warmte-opslag niet gevonden. Dit wordt veroorzaakt doordat de inhoud van de warmte-opslagtank sterk

samenhangt met de mate van CO_2-doseren. Dit wordt later in deze paragraaf toegelicht.

Uit de analyse blijkt wel dat de dekkingsgraad een betrouwbare samenhang heeft met het specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie, de CO_2-intensiteit en de warmte-intensiteit. De relatie is weergegeven in de volgende vergelijking:

$$Dek = 5{,}0 + 53{,}6 * \frac{P_{th}}{WI} + 0{,}85 * \frac{P_{th}}{CI} - 28{,}5 * \frac{CI}{WI} \qquad \text{(vergelijking 3)}$$

waarin:
DEK = dekkingsgraad (%/jaar);
P_{th} = specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie (W_{th}/m^2);
CI = CO_2-intensiteit (m^3 aardgas/m^2.jaar)
WI = warmte-intensiteit (m^3 a.e./m^2.jaar)

De bijbehorende statistische informatie is weergegeven in bijlage 9. Met deze regressievergelijking wordt 85% van de verschillen in dekkingsgraad tussen de bedrijven verklaard. De minimale en maximale waarde van de verklarende variabelen is hierna weergegeven. Buiten de gegeven trajecten mag de vergelijking in beginsel niet toegepast worden.

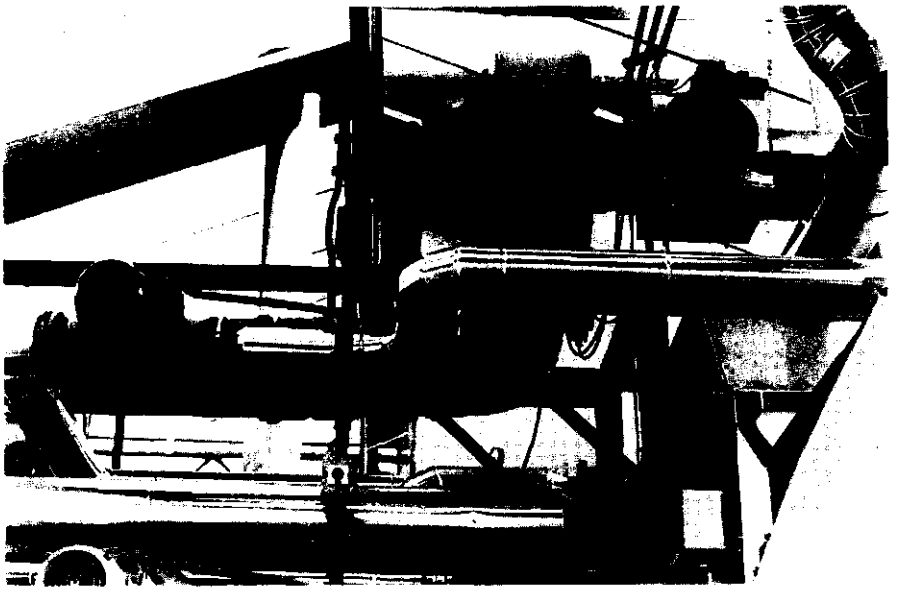
Specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie	: 10,7	- 62,5	(W_{th}/m^2);
CO_2-intensiteit	: 0	- 28,1	(m^3 aardgas/m^2.jaar);
Warmte-intensiteit	: 41	- 80	(m^3 a.e./m^2).

Indien voor de 3 verklarende variabelen waarden worden ingevuld van een willekeurig bedrijf, kan de dekkingsgraad van dat bedrijf worden geschat. De waarden moeten binnen de grenzen van het onderzoek vallen. Om de invloed per variabele duidelijk te maken, is tabel 4.1 gemaakt. In de tabel is een schatting weergegeven van de dekkingsgraad onder uiteenlopende omstandigheden. Per variabele zijn de gemiddelde en uiterste waarden gebruikt. Uit de tabel blijkt dat een verhoging van het specifiek thermisch vermogen (situatie a) aanzienlijk meer effect op de dekkingsgraad heeft, dan een verhoging van de CO_2-intensiteit of warmte-intensiteit (situatie b en c). Indien er op het bedrijf geen CO_2 gedoseerd wordt met de ketel is de CO_2-intensiteit gelijk aan 0 (situatie d). In deze situatie moet in de vergelijking voor de termen P_{th}/CI en CI/WI beide 0 worden ingevuld.

Tabel 4.1 Schatting van de dekkingsgraad in situaties met verschillende uitgangspunten voor de verklarende variabelen

	Situatie *)				
	gem.	a	b	c	d
Verklarende variabelen					
- specifiek thermisch vermogen w/k (W_{th}/m^2)	36	62	36	36	36
- CO_2-intensiteit (m^3 aardgas/m^2)	11	11	28	11	0
- warmte-intensiteit (m^3 a.e./m^2)	59	59	59	80	59
Dekkingsgraad (%)	35	61	25	28	38

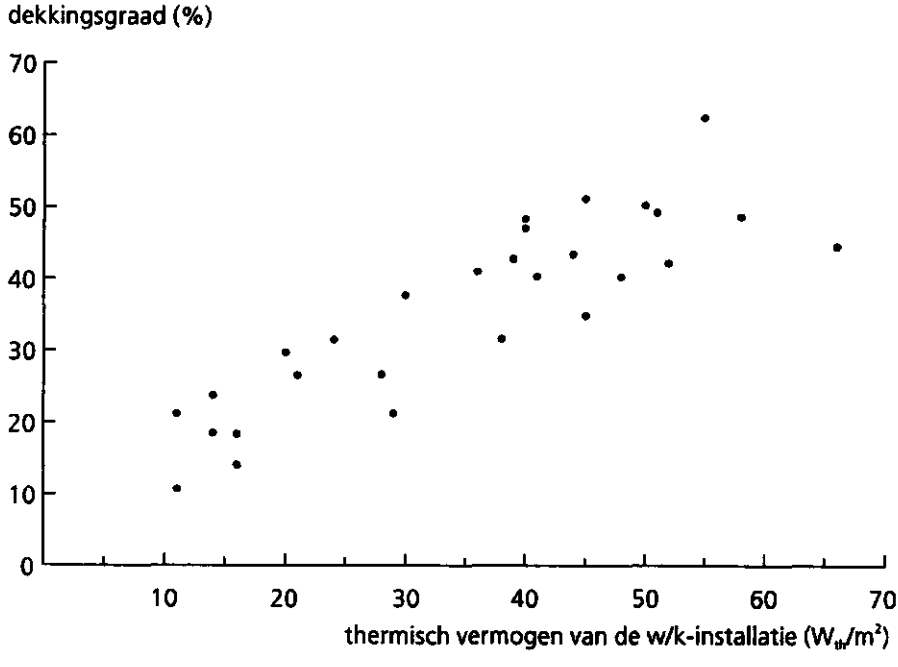
*) Gem. = gemiddelde waarden van de verklarende variabelen in het onderzoek
a = de hoogste waarde in het onderzoek van het thermisch vermogen
b = de hoogste waarde in het onderzoek van de CO_2-intensiteit
c = de hoogste waarde in het onderzoek van de warmte-intensiteit
d = geen CO_2-dosering met de ketel
Bron: LEI-DLO, 1995.



CO_2-ventilator; het doseren van CO_2 met de ketel heeft een lagere dekkingsgraad tot gevolg
Foto: Sandra Verhoeven

Een verhoging van het specifiek thermisch vermogen heeft dus een groot effect op de dekkingsgraad. Het verband tussen de dekkingsgraad en het geïnstalleerd thermisch vermogen is weergegeven in figuur 4.4. De invloed op de dekkingsgraad van het specifiek thermisch vermogen is waarschijnlijk niet lineair. Bij een groter vermogen zal de invloed afnemen. Het specifiek vermogen van de installaties in dit onderzoek is echter relatief beperkt, waardoor van een lineaire relatie wordt uitgegaan. Daarnaast heeft een verhoging van de CO_2-intensiteit een verlaging van de dekkingsgraad tot gevolg.

De gemiddelde CO_2-intensiteit van alle bedrijven in het onderzoek is 11 m^3 aardgas per m^2 per jaar (op de bedrijven met CO_2-dosering bedraagt dit 13,1). In de tabel is te zien dat bij een gemiddelde CO_2-intensiteit, een gemiddeld thermisch vermogen en een gemiddelde warmte-intensiteit, een dekkingsgraad van naar schatting 35% is te behalen (situatie gem.).



Figuur 4.4 De dekkingsgraad op het bedrijf is grotendeels afhankelijk van het geïnstalleerd specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie

Rookgasreiniging

Het doseren van CO_2 met de rookgassen van de w/k-installatie (door middel van rookgasreiniging) wordt nog niet algemeen toegepast. Met vergelijking 3 kan het effect van CO_2-doseren met de ketel op de dekkingsgraad worden geschat. De dekkingsgraad voor bedrijven zonder CO_2-dosering met de ketel zal waarschijnlijk ongeveer even hoog zijn als bedrijven met een w/k-installatie met rookgasreiniging.



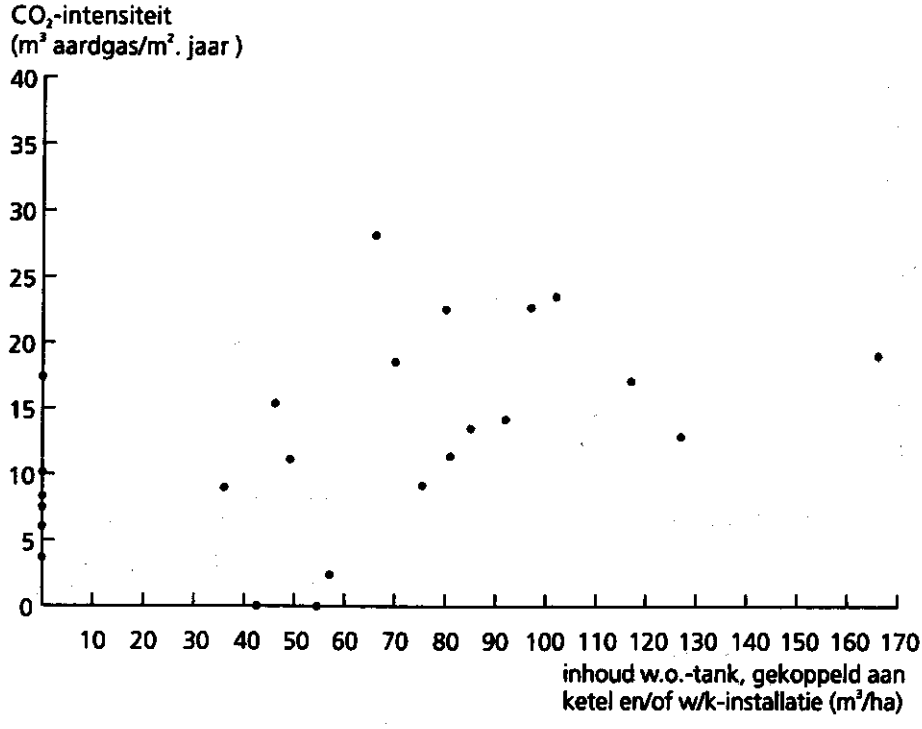
Door rookgasreiniging kan de dekkingsgraad aanzienlijk toenemen
Foto: Vakblad voor de Bloemisterij

Indien het mogelijk wordt CO_2 te doseren met de w/k-installatie, wordt de CO_2-intensiteit in de vergelijking gelijk aan 0. Substitutie in de vergelijking resulteert in een dekkingsgraad die gemiddeld 38% is; dit is 3 procentpunt hoger (tabel 4.1, situatie d). In de toekomst zal de CO_2-intensiteit op de bedrijven echter verder toenemen (Van der Velden et al., 1995). Indien de CO_2-intensiteit toeneemt, is het aannemelijk dat de dekkingsgraad lager wordt. In de situatie met de hoogste CO_2-intensiteit in het onderzoek (tabel 4.1, situatie b) wordt de dekkingsgraad dan naar schatting 25%. Het effect van rookgasreiniging wordt dan aanzienlijk groter; de dekkingsgraad neemt toe met 13 procentpunt. Bovendien komt per GJ warmte uit de w/k-installatie meer CO_2 vrij dan uit een ketel.

Dit voorgaande geldt als de w/k-installatie op warmtevraag geregeld blijft. Indien er door rookgasreiniging andere ontwikkelingen plaatsvinden, bijvoorbeeld regeling op CO_2-vraag, dan kan met de huidige vergelijking geen voorspelling van de dekkingsgraad worden gemaakt.

Warmte-opslag

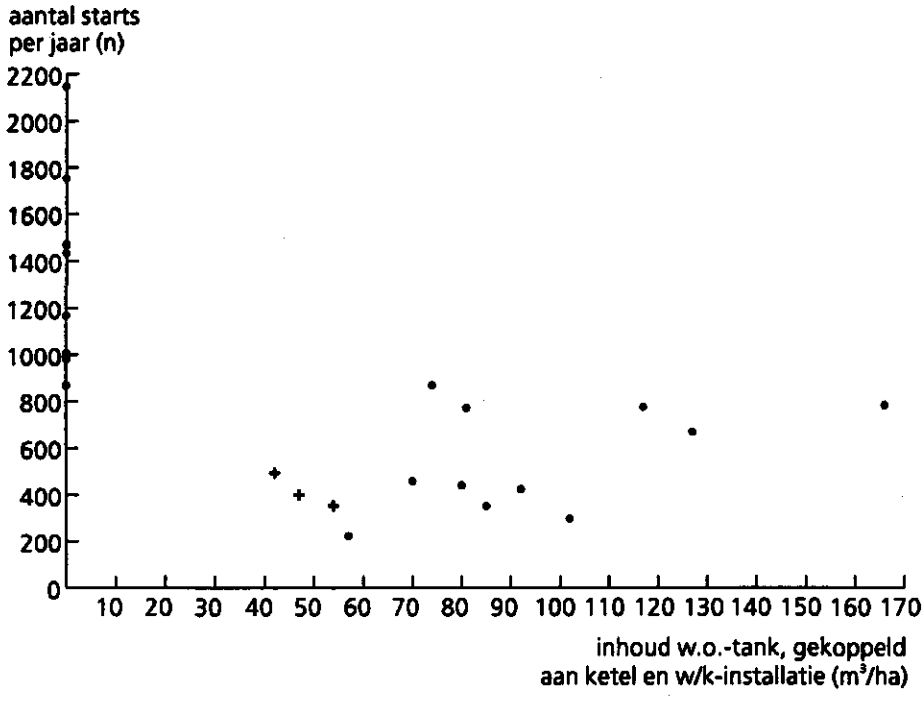
Verwacht wordt dat de aansluiting van de w/k-installatie op een warmte-opslagtank een positieve invloed heeft op de dekkingsgraad



Figuur 4.5 CO_2-intensiteit uitgezet tegen de inhoud van de warmte-opslagtank, gekoppeld aan de ketel en/of de w/k-installatie

(paragraaf 2.2). In de analyse wordt echter geen relatie gevonden tussen de grootte van de warmte-opslagtank en de dekkingsgraad. Enkelvoudige regressie tussen de twee variabelen vertoont zelfs een negatieve samenhang. Dit is te verklaren door de samenhang van de warmte-opslagtank met de CO_2-intensiteit (r=0,6); op bedrijven met een warmte-opslagtank wordt meer CO_2 gedoseerd. Dit is weergegeven in figuur 4.5. De warmte-opslagtank wordt vooral gebruikt om warmte op te slaan die vrijkomt bij CO_2-doseren. De hogere CO_2-intensiteit resulteert dan in een lagere dekkingsgraad.

In het onderzoek hebben achtien bedrijven een warmte-opslagtank die aangesloten is op de w/k-installatie; vijftien hiervan zijn aangesloten op zowel de w/k-installatie als de ketel. De overige drie tanks zijn alleen aangesloten op de w/k-installatie. Deze drie bedrijven hebben een relatief hogere dekkingsgraad. Het lijkt erop dat de aansluiting van een warmte-opslagtank op de w/k-installatie de dekkingsgraad kan verhogen. Het aantal bedrijven is echter te klein om de invloed te kwantificeren.



Figuur 4.6 Het aantal starts per jaar uitgezet tegen de inhoud van de warmte-opslagtank, gekoppeld aan ketel en w/k-installatie

Een warmte-opslagtank wordt vooral gebruikt om "pendelen" (aan- en uitslaan) van de w/k-installatie te voorkomen. Dit wordt bevestigd door het lagere aantal draaiuren per start bij de bedrijven zonder warmte-opslagtank (paragraaf 3.4). Het aansluiten van een warmte-opslagtank vermindert het aantal starts (figuur 4.6).

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusies

Het *totaal jaargebruiksrendement* van de 28 w/k-installaties in het onderzoek varieert sterk van installatie tot installatie. De hoogst presterende installatie bereikte een totaal gebruiksrendement van 93%, terwijl de laagst presterende installatie een rendement van 79% heeft. Het gemiddelde gebruiksrendement van alle installaties bedroeg 86%.

Het *elektrisch jaargebruiksrendement* is gemiddeld 33% en loopt uiteen van 28 tot 36%. Uit het onderzoek is gebleken dat de verschillen in elektrisch gebruiksrendement grotendeels bepaald worden door de effectieve druk van de motor en het wel of niet in deellast gebruiken van de w/k-installatie. De effectieve druk is een maat voor de specifieke arbeid per cilinder van de motor. De effectieve druk loopt uiteen van 5,5 tot 13,3 bar. Een installatie met een effectieve druk van 10 bar (bijvoorbeeld een installatie met een elektrisch vermogen van 300 kW met turbo/intercooler) heeft een elektrisch rendement dat 2 procentpunt hoger ligt dan een installatie met een effectieve druk van 6 bar (bijvoorbeeld een installatie met een elektrisch vermogen van 165 kW zonder turbo/intercooler).

Het gebruik van een installatie in deellast resulteert gemiddeld in een lager elektrisch rendement van 1 tot 2 procentpunt. De verwachting was dat het elektrisch gebruiksrendement ook beïnvloed zou worden door het merk/type van de w/k-installatie en het aantal draaiuren per start. Dit lijkt ook het geval te zijn; de relatie kan met de beschikbare gegevens echter niet worden gekwantificeerd.

Het eigen elektriciteitsverbruik van de w/k-installatie is gemiddeld 1,8% van de bruto-elektriciteitsproduktie en loopt uiteen van 1,5% tot 2,8%. De verschillen worden veroorzaakt door de aanwezige randapparatuur. Het gebruik van meer frequentie-geregelde randapparatuur zoals pompen en ventilatoren brengt waarschijnlijk een lager eigen elektriciteitsverbruik met zich mee.

Het *thermisch jaargebruiksrendement* is gemiddeld 53% en varieert van 47 tot 60%. De verschillen in thermisch gebruiksrendement worden voor een beperkt deel (30%) verklaard door het elektrisch gebruiksrendement en het gebruik van een condensor. Een hoger elektrisch gebruiksrendement van 1 procentpunt geeft een lager thermisch gebruiksrendement van 0,4 procentpunt.

In het onderzoek waren drie installaties met gebruik van een rookgascondensor. Dit geeft een toename van gemiddeld 5 tot 7 procentpunt in het thermisch gebruiksrendement. Dit houdt in dat door het gebruik van een rookgascondensor meer warmte wordt afgegeven aan het verwar-

mingssysteem van het tuinbouwbedrijf. Over de oorzaak van de overige verschillen in thermisch gebruiksrendement bestaat geen duidelijkheid.

De gemiddelde *dekkingsgraad* op alle bedrijven bedraagt 35% en loopt uiteen van 11 tot 66%. Het aandeel van de w/k-installatie in de warmtebehoefte van het tuinbouwbedrijf is op de meeste bedrijven nog beperkt. De verschillen in dekkingsgraad hangen voor een groot deel samen met het thermisch vermogen per m^2 kas (specifiek thermisch vermogen) van de w/k-installatie en de warmte-intensiteit en CO_2-intensiteit van het bedrijf.

Bij een groot specifiek thermisch vermogen zal een verandering van de warmte-intensiteit minder invloed hebben op de dekkingsgraad dan bij een klein specifiek thermisch vermogen. Het effect van de CO_2-intensiteit op de dekkingsgraad zal op een bedrijf met een hoog geïnstalleerd specifiek thermisch vermogen groter zijn; de w/k-installatie zal dan eerder "verdrongen" worden door de ketel, omdat deze gebruikt wordt voor CO_2-dosering. Daarnaast heeft een verhoging van de CO_2-intensiteit op een bedrijf met een lage warmte-intensiteit meer effect op de dekkingsgraad dan op een bedrijf met een hoge warmte-intensiteit.

Het gebruik van een warmte-opslagtank lijkt een beperkte positieve invloed te hebben op de dekkingsgraad. Het aantal starts van de w/k-installatie is veel lager op bedrijven waar een warmte-opslagtank is aangesloten op de w/k-installatie.

5.2 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt de grootte van de w/k-installatie af te stemmen op de warmtevraag van het tuinbouwbedrijf. Hierdoor kan de dekkingsgraad en de te realiseren energiebesparing door de w/k-installatie worden vergroot. Naast een groter thermisch vermogen van de w/k-installatie per m^2 kas kan de dekkingsgraad worden verbeterd door minder CO_2 te doseren met de ketel. Dit kan door het gebruik van zuivere CO_2 en door middel van reiniging van de rookgassen van de w/k-installatie, zodat deze geschikt worden voor CO_2-dosering.

Naast het afstemmen van de w/k-installatie op de warmtevraag is het van belang dat een installatie wordt gekozen met een hoog elektrisch en thermisch gebruiksrendement. Het elektrisch rendement kan worden verbeterd door gebruik te maken van w/k-installaties met een grotere effectieve druk (in de praktijk betekent dit een groter elektrisch vermogen en het gebruik van een turbo/intercooler), deze niet te gebruiken in deellast en door vermindering van het eigen elektriciteitsverbruik van de w/k-installatie. Het eigen elektriciteitsverbruik kan worden verminderd door het gebruik van meer frequentie-geregelde randapparatuur.

Het thermisch rendement kan worden verbeterd door het gebruik van een rookgascondensor. Om de verschillen in het thermisch rendement beter te verklaren zou verder onderzoek kunnen worden verricht. Mogelijke ingangen hiervoor zijn de retourtemperatuur van het verwarmingswa-

ter uit de kas, mogelijke vervuiling van de warmtewisselaars, vaste verliezen van de w/k-installatie. Ook kunnen hiervoor de uitzonderlijke meetresultaten bij enkele w/k-installaties in het onderzoek verder worden geanalyseerd.

Beperking van het aantal starts en stops is van belang om de onderhoudskosten van de w/k-installatie te verminderen. Het aantal starts en stops kan worden verminderd door de w/k-installatie aan te sluiten op een warmte-opslagtank.

Bij de optimalisatie van de energiebesparing met een w/k-installatie spelen naast technische aspecten ook bedrijfs-economische aspecten, zoals investeringen, onderhoud en energieprijzen, een rol. Aanbevolen wordt hiernaar onderzoek te verrichten. De meetresultaten en relaties van het in deze rapportage beschreven onderzoek kunnen hiervoor als bouwsteen dienen.

LITERATUUR

Breuer, J.J.G. (1987)
Jaarbelastingduurkromme en energiebesparing voor de Nederlandse glastuinbouw; studie naar relevante invloeden; Wageningen, IMAG; Rapport 90

Energiebesparing (1993)
Vervolgnota energiebesparing; Den Haag, Ministerie van Economische Zaken

Klimstra, J. (1991)
De energiehuishouding van warmte/kracht-installaties 1; Gas 3 (maart 1991), pp. 102-105

Klimstra, J. (1991)
De energiehuishouding van warmte/kracht-installaties 2; Gas 4 (april 1991), pp. 166-171

Leeuwen, R.C.L. van en N.J.A. van der Velden (1992)
Het gebruik van warmte/kracht-installaties in de glastuinbouw; Een inventarisatie; Den Haag, LEI-DLO; Publikatie 4.134

Meerjarenafspraak (1992)
Meerjarenafspraak tussen Nederlandse glastuinbouwsector en de Staat vertegenwoordigd door de Ministers van Economische Zaken en Landbouw, Natuurbeheer en Visserij over verbetering van de energie-efficiëntie; Aalsmeer, LNV, EZ en Landbouwschap

Nationaal Milieubeleidsplan 2; *Milieu als maatstaf*; Den Haag, VROM, 1993

Nawrocki, K.R. en N.J.A. van der Velden (1991)
Gebruiksrendementen aardgasgestookte ketels in de glastuinbouw; gissen is missen, meten is (z)weten; Wageningen, IMAG; Nota 91-55

Plan 9 (1992)
Plan van aanpak warmte/kracht in de glastuinbouw; Driebergen-Rijsenburg, PW/K

Sluis B.J. van der, K.R. Nawrocki en N.J.A. van der Velden (1992)
Dekkingsgraden van restwarmte in de glastuinbouw; Den Haag, LEI-DLO Publikatie 4.133

Velden, N.J.A. van der, B.J. van der Sluis en A.P. Verhaegh (1995)
Energie in de glastuinbouw van Nederland; ontwikkelingen in de sector en op de bedrijven tlm 1993; Den Haag, LEI-DLO; PR 39-92

BIJLAGEN

Bijlage 1 Begrippenlijst

o.w.	= onderste verbrandingswaarde van aardgas; De onderste verbrandingswaarde van 1 normaal m^3 aardgas is 31,65 MJ, wat gelijk is aan 8,79 kWh.
a.e.	= aardgasequivalenten, 1 a.e. komt overeen met 31,65 MJ warmte.
wza	= waterzijdige aansluiting; een wza is een thermische aansluiting van de w/k-installatie op het verwarmingssysteem van het tuinbouwbedrijf.
gebruiksrendement	= de verhouding tussen de energie-output en -input van een w/k-installatie gedurende een bepaalde periode, uitgedrukt in % (o.w.).
elektrisch gebruiksrendement	= hoeveelheid geproduceerde elektriciteit door de w/k-installatie, ten opzichte van de hoeveelheid toegevoerde energie, in de vorm van aardgas, uitgedrukt in % (o.w.).
thermisch gebruiksrendement	= hoeveelheid geproduceerde warmte door de w/k-installatie, ten opzichte van de hoeveelheid toegevoerde energie, in de vorm van aardgas, uitgedrukt in % o.w.
dekkingsgraad	= de mate waarin de w/k-installatie het tuinbouwbedrijf van warmte voorziet ten opzichte van de totale warmtevraag van het tuinbouwbedrijf, uitgedrukt in %. De warmtevraag is gelijk gesteld aan de som van de warmteproduktie van de ketel en de w/k-installatie.
warmte-intensiteit	= de totale jaarrond warmteproduktie van het tuinbouwbedrijf per oppervlakte-eenheid, uitgedrukt in GJ per m^2 kas of m^3 a.e. per m^2 kas per jaar.
CO_2-intensiteit	= de hoeveelheid aardgas, waarvan de rookgassen gebruikt worden voor CO_2-dosering in de kas, uitgedrukt in m^3 aardgas per m^2 kas per jaar.
turbo/ intercooler	= een turbo brengt verbrandingslucht onder druk in de cilinder, zodat de hoeveelheid verbrandingslucht toeneemt. De intercooler verlaagt de temperatuur van de verbrandingslucht, zodat bij gelijke druk meer verbrandingslucht toegevoerd kan worden.
elektrisch vermogen	= hoeveelheid geleverde elektrische energie per tijdseenheid (kW_e).

thermisch vermogen	=	hoeveelheid geleverde thermische energie (=warmte) per tijdseenheid (kW).
deellast	=	de w/k-installatie op minder vermogen laten draaien.
enkelvoudige lineaire regressie	=	het beschrijven van afhankelijke variabele y als een lineaire functie van een verklarende variabele.
meervoudige lineaire regressie	=	het beschrijven van afhankelijke variabele y als een lineaire functie van verscheidene verklarende variabelen.
intercorrelatie	=	maat voor samenhang tussen de verklarende variabelen.
specifiek vermogen thermisch	=	thermisch geïnstalleerd vermogen per eenheid kasoppervlak (W_{th}/m^2 kas).

Bijlage 2 Schatting warmteproduktie van de ketel en berekeningswijze dekkingsgraad

De dekkingsgraad is de mate waarin de warmte/kracht-installatie het tuinbouwbedrijf van warmte voorziet ten opzichte van de totale warmteproduktie van het tuinbouwbedrijf. Om dit te kunnen berekenen moet de warmteproduktie van de ketel en de warmte/kracht-installatie bekend zijn.

De warmteproduktie van de ketel is bepaald op basis van de volgende factoren (Nawrocki et al., 1991):
- het gasverbruik van de ketel;
- vaste verliezen van de ketel (onder andere stralingsverliezen);
- variabele verliezen van de ketel (onder andere schoorsteenverliezen).

De *variabele verliezen* hangen samen met het gebruik van een condensor en het type condensor.

De *vaste verliezen* (VV) zijn afhankelijk van:
- het vermogen van de ketel;
- de gemiddelde dikte van de ketelisolatie;
- het wel of niet warm zijn van het expansievat;
- de gebruiksduur van de ketel.

De *vaste verliezen* zijn geschat met de volgende vergelijking:

$$VV = \left(-182 + 1272 * \frac{CK}{KI} + 169 * EV \right) * N \qquad \text{(vergelijking 1)}$$

waarin: VV = vaste verliezen van de stookinstallatie (m^3 aardgas per jaar)
CK = vermogen van de ketel (MW)
KI = gemiddelde dikte van de ketelisolatie (cm)
EV = het wel (EV=1) of niet (EV=0) warm zijn van het expansievat
N = gebruiksduur van de ketel (weken/jaar)

Als de vaste verliezen berekend zijn, is de *warmteproduktie* van de ketel te berekenen volgens de vergelijking:

$$W_k = \frac{G_k - VV}{A} \qquad \text{(vergelijking 2)}$$

waarin: W_k = warmteproduktie van de ketel (gigajoule)
G_k = gasverbruik ketel (m^3 per jaar)
VV = vaste verliezen (m^3 aardgas per jaar)
A = factor voor condensortype, deze factor is bij:
- geen condensor : 33,1 m^3/GJ
- enkelvoudige condensor op retour : 30,8 m^3/GJ
- enkelvoudige condensor op apart net : 30,6 m^3/GJ
- combicondensor : 29,7 m^3/GJ

Uit de factoren voor de condensor-typen blijkt dat bij het gebruik van een condensor minder gas nodig is voor de produktie van 1 GJ warmte.

Het bijbehorende *gebruiksrendement van de ketel* wordt nu berekend door de warmteproduktie van de ketel te delen door het gasverbruik van de ketel. Het gasverbruik van de ketel moet eerst naar warmteproduktie (GJ) omgerekend worden met behulp van het gegeven dat bij de verbranding van 1 normaal m^3 aardgas 0,03165 GJ warmte (onderwaarde) vrijkomt.

$$\eta_k = \frac{W_k}{G_k \times 0{,}03165} \times 100\% \qquad \text{(vergelijking 3)}$$

waarin: η_k = gebruiksrendement ketel (% op o.w.)
W_k = warmteproduktie van de ketel (gigajoule)
G_k = gasverbruik ketel (m^3)
0,03165 = onderste verbrandingswaarde van aardgas (GJ/m^3 aardgas)

De *dekkingsgraad van de wk-installatie* kan nu bepaald worden:

De dekkingsgraad van de wk-installatie is het aandeel w/k-warmte in de totale warmteproduktie van het bedrijf. De totale warmteproduktie is gelijk aan de warmteproduktie van de ketel + w/k-installatie. De dekkingsgraad is als volgt te berekenen:

$$DK = \frac{W_{wk}}{W_k + W_{wk}} \times 100\% \qquad \text{(vergelijking 4)}$$

waarin: DK = dekkingsgraad (%)
W_{wk} = warmteproduktie van de w/k-installatie (GJ)
W_k = warmteproduktie van de ketel (GJ)

Hieronder is een rekenvoorbeeld gegeven.

Uitgangspunten:

- ketelvermogen (CK)	: 3 milj. kcal = 3,48 MW
- ketelisolatie (KI)	: 7 cm
- expansievat (EV)	: warm (=1)
- aantal weken op temperatuur (N)	: 52 weken/jaar
- combicondensor (A)	: 29,7 m^3/GJ
- gasverbruik ketel per jaar	: 700.000 m^3/jaar
- warmteproduktie van de w/k	: 10.580 GJ/jaar

Substitutie in vergelijking 1 geeft het volgende resultaat:

$$VV = \left(-182 + 1272 * \frac{3{,}48}{7} + 169 * 1 \right) * 52 = 32.207 \text{ m}^3 \text{ aardgas}$$

Substitutie in vergelijking 2 geeft de warmteproduktie van de ketel:

$$W_k = \frac{700.000 - 32.207}{29,7} = 22.485 \text{ GJ}$$

Substitutie in vergelijking 3 geeft het gebruiksrendement van de ketel:

$$\eta_k = \frac{22.485}{700.000 \times 0,03165} * 100\% = 101,5\%$$

Substitutie in vergelijking 4 geeft de dekkingsgraad van de warmte/kracht-installatie:

$$DK = \frac{10.580}{22.485 + 10.580} * 100\% = 32\ \%$$

Bijlage 3 Berekeningswijze elektrisch, thermisch en totaal gebruiksrendement van de w/k-installatie

Het elektrisch en thermisch gebruiksrendement van de w/k-installatie wordt bepaald aan de hand van het gemeten gasverbruik en de door de w/k-installatie geproduceerde hoeveelheid elektriciteit en warmte.

Het *elektrisch gebruiksrendement* is het aantal geproduceerde kWh elektriciteit ten opzichte van het gasverbruik van de w/k-installatie.

Het *thermisch gebruiksrendement* is het aantal geproduceerde GJ warmte ten opzichte van het gasverbruik van de w/k-installatie.

Het *totaal gebruiksrendement* is de som van het elektrisch en het thermisch gebruiksrendement.

De gebruiksrendementen worden bepaald op basis van de onderste verbrandingswaarde (o.w.) van het aardgas. De onderste verbrandingswaarde van 1 normale m^3 aardgas is 0,03165 GJ wat overeenkomt met 8,79 kW. De gebruiksrendementen zijn als volgt berekend:

Elektrisch:

$$\eta_e = \frac{E_{wk}}{G_{wk} * 8{,}79} * 100\%$$

waarin: η_e = elektrisch jaargebruiksrendement (% o.w.)
E_{wk} = elektriciteitsproduktie (kWh/jaar)
G_{wk} = gasverbruik w/k-installatie (m^3/jr)
8,79 = onderste verbrandingswaarde van aardgas (kWh/m^3)

Thermisch:

$$\eta_{th} = \frac{W_{wk}}{G_{wk} * 0{,}03165} * 100\%$$

waarin: η_{th} = thermisch jaargebruiksrendement (% o.w.)
W_{wk} = warmteproduktie (GJ/jaar)
G_{wk} = gasverbruik w/k-installatie (m^3/jaar)
0,03165 = onderste verbrandingswaarde van aardgas (GJ/m^3)

Bijlage 4 Berekeningswijze CO_2-intensiteit

Op alle bedrijven is de CO_2-intensiteit bepaald. Onder de CO_2-intensiteit wordt verstaan de hoeveelheid aardgas per m^2 kas waarvan de rookgassen zijn aangewend voor CO_2-dosering in de kas. Op bedrijven zonder CO_2-dosering is de CO_2-intensiteit gelijk aan 0. Op bedrijven met CO_2-dosering zijn bij de ketel een aantal telwerken gemonteerd, te weten:

- uren hoogtoeren	Registreert het aantal uren dat de CO_2-ventilator draait en de ketel in hoogtoeren brandt.
- uren laagtoeren	Registreert het aantal uren dat de CO_2-ventilator draait en de ketel in laagtoeren brandt.
- pulsen gasmeter ketel [1]	Registreert het aantal m^3 aardgas dat wordt verbrand als de CO_2-ventilator draait en de ketel in laagtoeren brandt.

Bovendien is tijdens een eenmalige meting de capaciteit van het CO_2-doseersysteem bepaald. Hoe deze meting is uitgevoerd, is hierna vermeld, onder *bepaling capaciteit CO_2-doseersysteem*.

Ter bepaling van de CO_2-intensiteit wordt gedurende het CO_2-doseren onderscheid gemaakt in het gebruik van de brander in hoogtoeren en in laagtoeren. Het gasverbruik in laagtoeren in perioden met CO_2-dosering wordt gemeten. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat in laagtoeren alle geproduceerde rookgassen door het CO_2-doseersysteem ook in de kas worden gebracht. Dit wordt gecontroleerd op basis van de capaciteitsmeting van het CO_2-doseersysteem en eventueel hiervoor gecorrigeerd. Het gasverbruik in hoogtoeren wordt bepaald op basis van het aantal uren CO_2-dosering in hoogtoeren en de capaciteit van het CO_2-doseersysteem.

Bepaling capaciteit CO_2-doseersysteem

Tijdens een eenmalige meting is de capaciteit van het CO_2-doseersysteem bepaald. De capaciteit is bepaald op basis van:

- meting van de hoeveelheid rookgassen (m^3) die de ventilator kan verplaatsen en;
- meting van de CO_2-concentratie van de door de CO_2-ventilator getransporteerde rookgassen.

---

1) Op enkele bedrijven zijn twee pulstellers geïnstalleerd. Dit is het geval als de gasmeter van de w/k-installatie achter de hoofdgasmeter is geplaatst; op beide gasmeters is dan een pulsteller aangesloten. Het gasverbruik waarvan de rookgassen worden gebruikt voor CO_2-dosering wordt dan bepaald door deze twee pulstellers te salderen.

Rekenvoorbeeld

Uitgangspunten:

- pulsenteller	: 100.000 m^3 aardgas
- uren laagtoeren	: 1.000 uur
- uren hoogtoeren	: 10 uur
- capaciteit CO_2-doseersysteem	: 150 m^3 aardgas/uur
- bedrijfsgrootte	: 10.000 m^2

In laagtoerenstand van de brander wordt ervan uitgegaan dat alle geproduceerde rookgassen door het CO_2-doseersysteem ook in de kas zijn gebracht, want:

$$CO_2\text{-dosering (laagtoeren)} = \frac{\text{pulsenteller}}{\text{uren laagtoeren}} = \frac{100.000}{1.000} = 100\ m^3/uur$$

Dit is kleiner dan de gemeten capaciteit van het CO_2-doseersysteem van 150 m^3/uur. In het voorbeeld wordt de CO_2-intensiteit:

$$CO_2\text{-intensiteit} = \frac{100.000 + 10 * 150\ m^3}{10.000\ m^2} = 10{,}15\ m^3/m^2$$

Bijlage 5 Effectieve druk van de w/k-installatie

De efficiency van de motor wordt in sterke mate bepaald door de specifieke arbeid die een cilinder per omwenteling van de motor kan verrichten. Dit wordt uitgedrukt in de effectieve druk in de cilinder. De effectieve druk zegt iets over de prestaties van de motor, en is dus een getal waarmee verschillende motoren met elkaar kunnen worden vergeleken. De effectieve druk wordt als volgt berekend:

$$p_e = \frac{P}{z * \pi/4 * d^2_{zuiger} * s * n/a}$$

waarin:
- p_e = de effectieve druk in de cilinder (N/m^2)
- P = het vermogen van de motor (W)
- z = het aantal cilinders van de motor
- d_{zuiger} = diameter van de zuiger (m^2)
- s = de slag van de cilinder (m)
- n = het toerental van de motor (omw/s)
- a = factor voor het aantal arbeidsslagen van de cilinder per omwenteling (tweetaktmotor: 1; viertaktmotor: 2)

Bijlage 6 Jaargebruiksrendementen en elektriciteitsverbruik van de w/k-installaties per bedrijf

Bedrijfs-nummer	Jaargebruiksrendement (% o.w.)			Elektrisch verbruik w/k-installatie (%) a)
	elektrisch	thermisch	totaal	
Groep 1				
101	31,6	50,6	82,2	
102	30,5	53,5	84,0	
103	29,3	54,9	84,2	
111	31,3	53,7	85,0	
122	31,7	47,0	78,7	1,76
123	32,7	50,6	83,3	2,76
Gem. groep 1	31	52	83	
Groep 2				
204	28,1	60,0	88,1	
214	31,9	48,5	80,4	
213	35,2	48,5	83,7	
216	34,6	51,0	85,6	
217	34,9	51,2	86,1	
218	34,9	51,0	85,9	
219	34,6	52,8	87,3	
220	35,6	52,5	88,1	
224	35,4	51,2	86,6	1,84
225	34,8	50,1	84,9	1,92
226	34,1	52,6	86,7	1,75
227	34,9	55,5	90,4	1,73
228	33,2	51,7	85,0	1,54
229	34,6	51,5	86,0	1,72
230	33,5	48,8	82,3	1,72
231	35,1	52,1	87,2	1,69
232	35,6	54,0	89,6	1,68
Gem. groep 2	34	52	86	
Groep 3				
310	31,5	54,3	85,8	
312	32,6	50,9	83,6	
Gem. groep 3	32	53	85	
Groep 4				
405	33,1	59,7	92,7	
407	31,0	54,4	85,5	
421	34,7	57,5	92,2	1,60
Gem. groep 4	33	57	90	
Gem. alle bedrijven	33	53	86	1,8 a)

a) Het elektrisch verbruik van de w/k-installatie is weergegeven van de bedrijven waar dit gemeten is en uitgedrukt in een percentage van de bruto-elektriciteitsproduktie.

Bijlage 7 Draaiuren, starts, draaiuren per start, gebruik in deellast en elektrisch vermogen van de w/k-installaties per bedrijf

Bedrijfs-nummer	Draaiuren a) (aantal)	Starts b) (aantal)	Draaiuren per start (aantal)	Deellast (ja/nee) c)	Elektrisch vermogen (kW)
Groep 1					
101	4.011	772	5,2	1	165
102	5.300	775	6,8	1	166
103	4.464	669	6,7	1	150
111	4.042	*)	*)	0	158
122	5.969	868	6,9	0	155
123	4.668	*)	*)	0	158
Groep 2					
204	3.814	1.006	3,8	1	259
214	6.179	*)	*)	1	285
213	4.360	264	16,5	0	532
216	3.666	441	8,3	0	538
217	4.524	424	10,7	0	537
218	4.738	458	10,3	0	544
219	4.290	297	14,4	0	534
220	4.166	352	11,8	0	538
224	6.727	1.754	3,8	1	504
225	6.146	400	15,4	0	990
226	5.494	869	6,3	0	502
227	5.845	494	11,8	0	599
228	6.254	353	8,9	0	455
229	6.623	222	*)	0	460
230	6.425	1.469	4,4	0	598
231	4.966	783	6,3	0	590
232	6.077	1.167	5,2	0	600
Groep 3					
310	5.749	2.148	2,7	1	378
312	5.592	*)	*)	1	293
Groep 4					
405	6.527	980	3,3	1	302
407	4.977	1.434	3,5	1	300
421	3.304	*)	*)	1	271
Gemiddeld	5.175	780	7,8	-	413

a) Bij bedrijven met twee w/k-installaties, is het gemiddeld aantal draaiuren en starts genomen; b) Bij vijf bedrijven zijn geen starts gemeten; deze zijn aangegeven met *); c) De mogelijkheid om de w/k-installatie in deellast te laten draaien, is aangegeven met een 1. Indien deze mogelijkheid er niet is, is dit aangegeven met een 0.

Bijlage 8 Dekkingsgraad, speciefiek thermisch vermogen w/k-installatie, warmte-intensiteit, CO_2-intensiteit en inhoud van de warmte-opslagtank per bedrijf

Bedrijfsnummer	Dekkingsgraad (%)	Specifiek thermisch vermogen w/k (W_{th}/m^2)	Warmte-intensiteit (m^3 ae/m^2)	CO_2-intensiteit (m^3 aardgas/m^2)	Inhoud warmte-opslagtank (m^3/ha)
Groep 1					
101	11	21,2	61,1	11,4	81
102	14	18,5	60,5	17,1	117
103	11	10,7	49,2	12,9	127
111	21	26,5	57,3	-	-
122	29	21,2	41,4	6,1	-
123	30	37,7	64,9	15,4	46
Groep 2					
204	16	18,4	54,6	17,4	-
214	51	49,2	75,5	8,3	-
213	45	51,1	43,1	22,7	97
216	20	29,7	66,7	22,5	80
217	39	42,7	58,2	14,2	92
218	40	47,0	66,4	18,5	70
219	36	41,0	73,1	23,5	102
220	24	31,4	65,0	13,5	85
224	16	14,1	57,9	28,1	66
225	38	31,6	57,5	10,4	47
226	52	42,1	50,2	8,4	74
227	48	40,3	51,4	-	42
228	50	50,2	70,2	-	54
229	45	34,9	53,1	2,4	57
230	40	48,3	79,8	-	-
231	41	40,3	55,2	19,0	166
232	44	43,4	63,2	-	-
Groep 3					
310	55	62,5	71,7	10,1	-
312	58	48,6	49,0	-	-
Groep 4					
405	66	44,4	51,9	3,7	-
407	28	26,6	52,3	7,5	-
421	14	23,7	56,4	9,0	36
Gemiddeld	35	36,1	59,2	13,7	80

- = Geen CO_2-dosering of geen warmte-opslagtank.

Bijlage 9 Statistische informatie analyse-resultaten

r^2 = aandeel van de bedrijven waarvan de verschillen verklaard worden (%)
t = maat voor betrouwbaarheid;
bijvoorbeeld waarde 2,05 betekent een betrouwbaarheid van 95% bij 28 vrijheidsgraden; waarde 1,7 betekent een betrouwbaarheid van 90% bij 25 vrijheidsgraden.
(Aantal vrijheidsgraden = aantal waarnemingen - aantal verklarende variabelen - 1);
r = intercorrelatie; een maat voor de samenhang tussen de verklarende variabelen. r = 0,35 betekent dat 12,3% (r^2) van de verschillen in de ene variabele samenhangen met verschillen in de andere variabele.

De minimale en maximale waarden van de verklarende variabelen zijn ook weergegeven. Buiten de gegeven trajecten mogen de vergelijkingen in beginsel niet toegepast worden.

Elektrisch gebruiksrendement

vergelijking 1:
$\eta_e = 25{,}7 + 3{,}6 * \ln p_{eff} - 1{,}9 * deellast$

Waarin:
η_e = elektrisch jaargebruiksrendement (%)
p_{eff} = de effectieve druk van de motor (bar)
deellast = gebruik van de w/k-installatie in deellast (ja/nee = 1/0)

De minimale en maximale waarde van p_{eff} is 5,5 respectievelijk 13,3 bar.

Statistische informatie:

t (p_{eff})	=	4,1
t (deellast)	=	- 3,6
r^2 (%)	=	58,0
n	=	28
r (ln p_{eff} - deellast)	=	- 0,24

vergelijking 1.a.:
$\eta_e = 23{,}8 + 4{,}6 * \ln p_{eff} - 1{,}4 * deellast$

De minimale en maximale waarde van p_{eff} is 5,5 respectievelijk 10,7 bar.

Statistische informatie:

t (p_{eff})	=	2,8
t (deellast)	=	- 1,5 *)
r^2 (%)	=	43,2
n	=	9
r (ln p_{eff} - deellast)	=	0,48

*) De statistische betrouwbaarheid is in dit geval circa 85%.

Thermisch gebruiksrendement

vergelijking 2:
η_{th} = 65,5 - 0,41 η_e + 5,1 cond.

Waarin:
η_{th} = thermisch jaargebruiksrendement (%);
η_e = elektrisch jaargebruiksrendement (%);
cond. = wel of geen condensor (1 of 0).

De minimale en maximale waarde van η_e is 28,1% respectievelijk 35,6%.

Statistische informatie:

t (η_e)	=	- 1,7 *)
t (cond.)	=	3,2
r^2 (%)	=	30,4
n	=	28
r (η_e - cond.)	=	0,06

*) De statistische betrouwbaarheid is in dit geval circa 90%

Dekkingsgraad

vergelijking 3:

$$Dek = 5{,}0 + 53{,}6 * \frac{P_{th}}{WI} + 0{,}85 * \frac{P_{th}}{CI} - 28{,}5 * \frac{CI}{WI}$$

Waarin:
DEK = dekkingsgraad (%);
P_{th} = specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie (W_{th}/m^2);
CI = CO_2-intensiteit (m^3 aardgas/m^2.jaar);
WI = warmte-intensiteit (m^3 a.e./m^2.jaar).

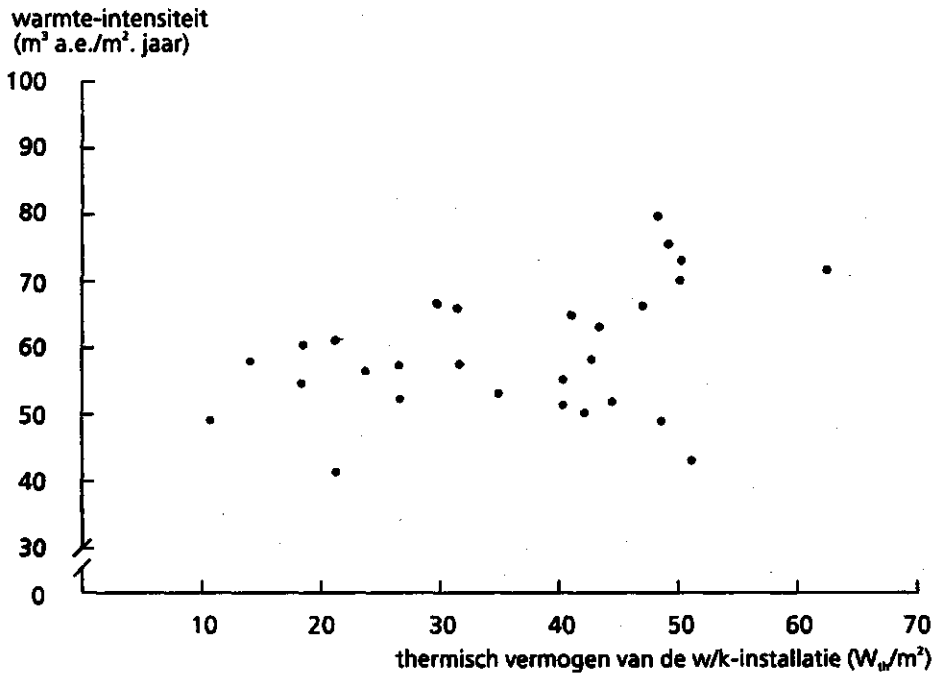
De minimale en maximale waarden van de verklarende variabelen zijn hieronder weergegeven:
Specifiek thermisch vermogen : 10,7 - 62,5 (W_{th}/m^2);
CO_2-intensiteit : 0 - 28,1 (m^3 aardgas/m^2.jaar);
Warmte-intensiteit : 41 - 80 (m^3 a.e./m^2).

Statistische informatie:

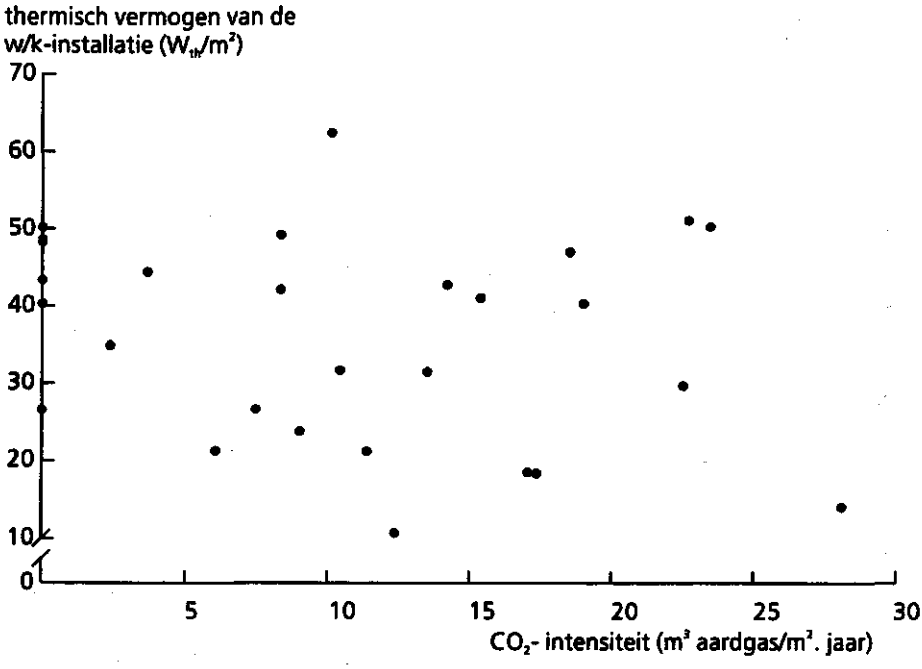
t (P_{th}/WI)	=	10,1
t (P_{th}/CI)	=	- 2,4
t (CI/WI)	=	- 3,5
r^2 (%)	=	85,1
n	=	28
r (P_{th}/WI-P_{th}/CI)	=	0,25
r (P_{th}/WI-CI/WI)	=	- 0,16
r (P_{th}/CI-CI/WI)	=	- 0,15

Bijlage 10 Verklarende variabelen voor de dekkingsgraad, uitgezet in figuren

Uit figuur B10.1, waarin het thermisch vermogen van de w/k-installatie en de warmte-intensiteit van het bedrijf tegen elkaar zijn uitgezet, blijkt dat installaties met een relatief groot thermisch vermogen per m^2 kas zijn geïnstalleerd op bedrijven met zowel een lage als een hoge warmte-intensiteit. Op bedrijven met een relatief laag thermisch vermogen per m^2 kas zijn de verschillen wat minder groot. Er bestaat echter geen duidelijke samenhang tussen het thermisch vermogen en de warmte-intensiteit.

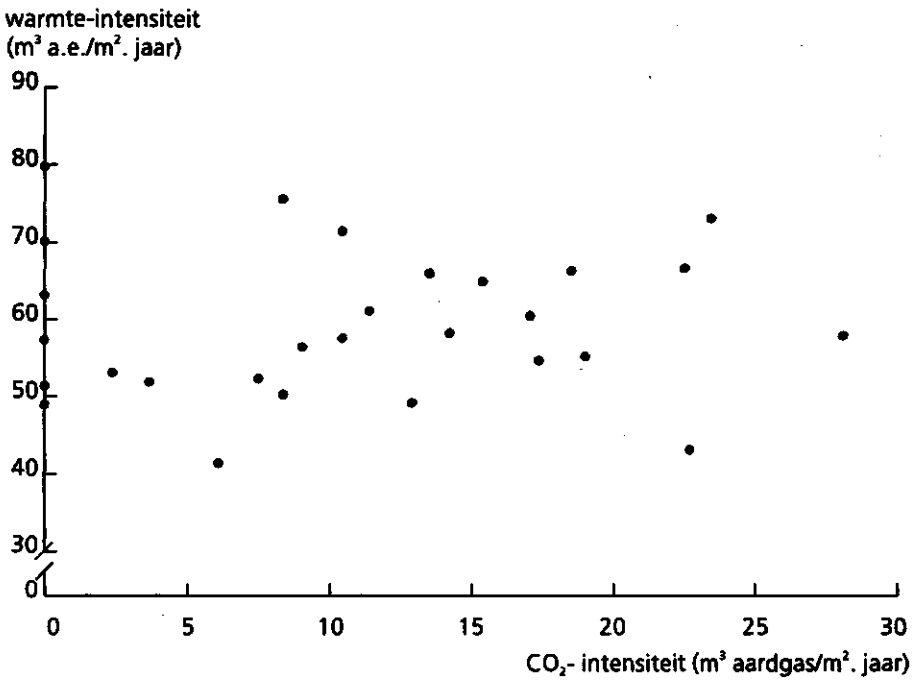


Figuur B10.1 De warmte-intensiteit van het bedrijf uitgezet tegen het geïnstalleerd specifiek thermisch vermogen van de w/k-installatie



Figuur B10.2 De CO_2-intensiteit van het bedrijf uitgezet tegen het geïnstalleerd thermisch vermogen van de w/k-installatie

Uit figuur B10.2, waarin het thermisch vermogen van de w/k-installatie en de CO_2-intensiteit van het bedrijf tegen elkaar zijn uitgezet, blijkt dat er geen verband is tussen deze twee variabelen.



Figuur B10.3 De warmte-intensiteit uitgezet tegen de CO_2-intensiteit

Uit figuur B10.3, waarin de CO_2-intensiteit en de warmte-intensiteit tegen elkaar zijn uitgezet, blijkt dat er geen samenhang bestaat tussen deze twee variabelen. Op bedrijven met een relatief hoge warmte-intensiteit wordt in enkele gevallen geen CO_2 gedoseerd terwijl op bedrijven met een lage warmte-intensiteit veel CO_2 gedoseerd kan worden.