Ing. V.P. Fonville
Ing. M.G. Telle
Ing. N.J.A. van der Velden

Publ. No. 4.125

WARMTEPOMPEN IN DE GLASTUINBOUW

TECHNISCH-ECONOMISCHE EVALUATIE IN SAMENWERKING MET HET IMAG

LANDBOUW-ECONOMISCH INSTITUUT DEN HAAG BIBLIOTHEEK
SIGN: L 26 - 4.125
EX. NO: B
MLV:

Maart 1990

Landbouw-Economisch Instituut - Afdeling Tuinbouw
Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen

515483

REFERAAT

WARMTEPOMPEN IN DE GLASTUINBOUW; TECHNISCH-ECONOMISCHE EVALUATIE IN SAMENWERKING MET HET IMAG
Fonville, V.P., M.G. Telle en N.J.A. van der Velden
Den Haag, Landbouw-Economisch Instituut, 1990
Publikatie 4.125
ISBN 90-5242-058-0
55 p., 5 fig., 7 tab., English summary

Een warmtepomp is een alternatieve warmtebron die een aanzienlijke brandstofbesparing kan opleveren. In dit onderzoek wordt een beeld geschetst van de prestaties en inpassing van een warmtepomp op een glastuinbouwbedrijf. Vervolgens wordt berekend bij welke gasprijs (equivalentieprijs) het op een glastuinbouwbedrijf geen verschil maakt of er met een warmtepomp of conventionele gasketel warmte wordt geproduceerd.

Het functioneren van een warmtepomp is afhankelijk van de technische uitvoering, de inpassing in het bedrijf en de bedrijfsomstandigheden. Met name de noodzakelijke aanpassing van het verwarmingssysteem is van groot belang. In de uitgangssituatie is de equivalentieprijs voor het gunstigste type, de water/-water warmtepomp, op een bedrijf van 12.500 m2 67 cent per m3 aardgas. In een aantal bedrijfssituaties ligt de equivalentieprijs op het niveau van de hoge gasprijs van 1984 en 1985. Eventuele toekomstige ontwikkelingen zouden het perspectief van de warmtepomp aanmerkelijk kunnen verbeteren.

Energie/Glastuinbouw/Alternatieve energiebronnen/Lage temperatuur energie/Energiebesparing/ Warmtepomp/Nederland

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Fonville, V.P.

Warmtepompen in de glastuinbouw : technisch-economische evaluatie in samenwerking met het IMAG / V.P. Fonville, M.G. Telle, N.J.A. van der Velden. - Den Haag : Landbouw-Economisch Instituut. - Ill., fig., tab. - (Publikatie / Landbouw-Economisch Instituut ; 4.125)
Met samenvatting in het Engels.
ISBN 90-5242-058-0
SISO 637.1 UDC 621.577:(631.544:635) NUGI 835
Trefw.: warmtepompen ; glastuinbouw ; technische aspecten / warmtepompen ; glastuinbouw ; economische aspecten.

Overname van de inhoud toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Inhoud

		Blz.
WOORD VOORAF		5
SAMENVATTING		7
SUMMARY		10
1.	INLEIDING	13
2.	METHODE VAN ONDERZOEK	14
3.	WARMTEPOMP, ACHTERGRONDEN EN INPASSING	15
	3.1 Warmtepomp	15
	3.1.1 Werking	15
	3.1.2 Compressor en motor	16
	3.1.3 Warmtebron en verdamper	17
	3.1.4 Generator	18
	3.2 Inpassing in tuinbouwbedrijf	18
	3.2.1 Basislast	18
	3.2.2 Hoog- en laagwaardige warmte	20
	3.2.3 Laagwaardig verwarmingsnet	21
	3.3 Investering en onderhoud	21
4.	MEETRESULTATEN	24
	4.1 Inleiding	24
	4.2 Meetresultaten	27
5.	BEDRIJFSECONOMISCHE EVALUATIE	33
	5.1 Inleiding	33
	5.2 Uitgangspunten	34
	5.2.1 Middelgroot bedrijf	34
	5.2.2 Groot bedrijf	37
	5.3 Resultaten	37
	5.3.1 Middelgroot bedrijf	37
	5.3.2 Groot bedrijf	40
6.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	43
	6.1 Technische evaluatie	43
	6.2 Bedrijfseconomische evaluatie	44
LITERATUUR		45
BIJLAGEN		46

Woord vooraf

Voor de verwarming van kassen wordt in Nederland meestal gebruik gemaakt van een aardgasgestookte ketel. In het begin van de jaren tachtig stegen de energiekosten in de glastuinbouw sterk en er werd in die periode veel in energiebesparing geïnvesteerd. Ook werd gezocht naar alternatieve warmtebronnen. De warmtepomp is naast kolenstoken, Total-Energy en rest- en afvalwarmte één van die alternatieven. Door de Ministeries van Landbouw en Visserij en Economische Zaken zijn in die tijd fondsen gevormd die tot doel hadden onderzoek mogelijk te maken naar het gebruik van de warmtepomp in de glastuinbouw.

Momenteel zijn de energieprijzen laag en mede daardoor energiebesparende maatregelen minder actueel. In de toekomst kunnen deze prijzen echter opnieuw stijgen. Ook vanuit milieu-oogpunt zal verbetering van de energie-efficiency in de glastuinbouw (het energieverbruik per eenheid produkt) een belangrijke rol gaan spelen. De warmtepomp kan aan deze ontwikkeling een bijdrage leveren.

Deze publikatie gaat over de technische inpassing van een warmtepomp op een glastuinbouwbedrijf, de prestaties en het bedrijfseconomisch perspectief.

Informatie-uitwisseling heeft plaatsgevonden in de stuurgroep warmtepompen in de glastuinbouw. Hierin waren vertegenwoordigd het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, de Nederlandse maatschappij voor energie en milieu (Novem), het Consulentschap in Algemene Dienst voor de Bedrijfsuitrusting in de Akker- en Tuinbouw (CAD-BAT), het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG) en het Landbouw-Economisch Instituut (LEI). De uitvoering van het onderzoek was in handen van de laatstgenoemde twee instituten.

De Directeur van het
Landbouw-Economisch Instituut,

J. de Veer
Den Haag

De Directeur van het
Instituut voor Mechanisatie,
Arbeid en Gebouwen,

A.A. Jongebreur
Wageningen

Maart 1990

Samenvatting

In de Nederlandse glastuinbouw wordt voor het verwarmen van kassen voornamelijk gebruik gemaakt van aardgasgestookte ketels. Een deel van de warmtebehoefte kan ook door een warmtepomp worden geleverd. Een warmtepomp bespaart brandstof omdat de warmte met een hoog rendement wordt geproduceerd. De investeringen, het elektriciteitsverbruik en de onderhoudskosten zijn echter hoger, het verwarmingssysteem moet worden aangepast en de rookgassen zijn minder schoon. Naast het gebruik als warmtebron kan door toevoeging van een generator ook elektriciteit worden geproduceerd.

In het begin van de tachtiger jaren bestond er door de hoge brandstofprijzen belangstelling voor de warmtepomp. Momenteel is dat door de lage brandstofprijzen voorbij. In de toekomst kunnen de prijzen echter opnieuw stijgen en vanuit milieu-oogpunt zal brandstofbesparing een belangrijke rol spelen. De warmtepomp kan hieraan een bijdrage leveren.

Er is veel onderzoek gedaan naar de warmtepomp maar dit heeft nog geen samenhangend beeld opgeleverd. Met name de inpassing in het bedrijf en de invloed van de bedrijfsomstandigheden zijn niet goed uitgekristalliseerd. In dit onderzoek worden de beschikbare meetresultaten en technische ervaringen bijeengebracht en geanalyseerd en wordt een *overall* beeld gegeven. Vervolgens wordt het bedrijfseconomisch perspectief van de warmtepomp bepaald.

Met de huidige kennis en ervaring is het mogelijk een goed functionerende warmtepomp op een tuinbouwbedrijf te installeren. De dimensionering en de regeling is hierbij van groot belang. Wat betreft de dimensionering bestaat er meer duidelijkheid, de regeltechnische inpassing is echter nog niet goed uitgekristalliseerd.

Het grote verschil tussen een warmtepomp en een gasketel is de grote hoeveelheid verwarmingswater met een lage temperatuur (laagwaardige warmte) die een warmtepomp produceert. Dit vereist een andere manier van stoken in de kas omdat het verwarmingssysteem met een apart laagwaardig net moet worden uitgebreid. Op veel tuinbouwbedrijven is reeds een klein laagwaardig net aanwezig voor de laagwaardige warmte uit de condensor van de gasketel. Als dit het geval is zal dit net moeten worden uitgebreid. De omvang van het aparte net moet in overeenstemming zijn met de capaciteit van de warmtepomp en eventueel de condensor van de gasketel. Een groot laagwaardig net brengt praktische problemen met zich mee. Het te installeren vermogen van de warmtepomp wordt daarom bepaald door de omvang van het laagwaardige net. Bij acht poly-ethyleen slangen per 3,20 m kap en laagwaardige condensorwarmte is dit 40 W per m2.

Tussen de gerealiseerde prestaties van warmtepompen op tuinbouwbedrijven (seizoenswarmteverhouding, warmtedekking, gasbesparing en elektriciteitsverbruik) blijken grote verschillen te bestaan. De verschillen worden veroorzaakt door de technische uitvoering van de warmtepomp (type warmtepomp, vermogen en gebruik van een generator) en de bedrijfsomstandigheden (uitvoering laagwaardige net, warmte-intensiteit, CO_2-dosering en type condensor).

Bij de huidige stand van de techniek en een vermogen van 40 W per m2, CO_2-produktie door de gasketel en zonder generator worden in de praktijk de volgende prestaties verwacht: bij een water/water warmtepomp een seizoenswarmteverhouding van 210% (op onderwaarde), een dekking van 38% en een extra elektriciteitsverbruik van 2 kWh per GJ geproduceerde warmte. Bij een lucht/water warmtepomp met stille verdamper respectievelijk 180%, 35% en geen extra elektriciteitsverbruik en bij de lucht/water warmtepomp met geforceerde verdamper respectievelijk 175%, 30% en 5 kWh per GJ. De technische prestaties zijn dus het gunstigst bij de water/water warmtepomp, gevolgd door de lucht/water warmtepomp met stille verdamper en lucht/water warmtepomp met geforceerde verdamper. De dekking die wordt gerealiseerd is lager dan de dekking die volgens de jaarbelastingduurcurve mogelijk moet zijn.

Bij de bedrijfseconomische evaluatie wordt de gasprijs berekend waarbij het stoken met een warmtepomp evenveel kost als het stoken met een gasketel, dit is de equivalentieprijs. De berekeningen zijn uitgevoerd voor drie warmtepomptypen bij uiteenlopende bedrijfssituaties (bedrijfsgrootte, generator, warmte-intensiteit en type condensor). Daarnaast zijn gevoeligheden voor eventuele toekomstige ontwikkelingen (lagere investering en onderhoudskosten en hogere dekking en seizoenswarmteverhouding) in beschouwing genomen.

In de uitgangssituatie met een warmte-intensiteit van 50 m3 a.e. (aardgasequivalent) per m2, een combicondensor en geen generator is de equivalentieprijs voor een water/water warmtepomp op een bedrijf van 12.500 m2 67 cent per m3 gas. Dit betekent dat in deze situatie de warmtepomp bij een gasprijs die structureel hoger is dan 67 cent interessant wordt ten opzichte van het volledig stoken met een gasketel. Voor het lucht/water type met stille verdamper is de equivalentieprijs 84 cent en voor het lucht/water type met geforceerde verdamper 125 cent per m3. Het water/water type biedt dus het meeste perspectief.

Een groter bedrijf, een hogere warmte-intensiteit of het gebruik van een ander type of geen condensor bij de gasketel resulteert in een lagere equivalentieprijs. In de uitgangssituatie is de equivalentieprijs op een bedrijf van 25.000 m2 voor een water/water warmtepomp 61 cent per m3 gas. Van de onderzochte bedrijfsomstandigheden heeft de warmte-intensiteit de grootste invloed. In de situatie met een water/water warmtepomp op een bedrijf van 25.000 m2, een warmte-intensiteit van 70 m3 a.e. per m2

en een condensor op apart net daalt de equivalentieprijs tot 39 cent per m3 en ligt daarmee onder het prijsniveau van de jaren 1984 en 1985. Het gebruik van een generator biedt geen bedrijfseconomische voordelen.

Ontwikkelingen die leiden tot lagere investeringen of onderhoudskosten of betere technische prestaties kunnen het bedrijfseconomisch perspectief aanmerkelijk verbeteren.

Summary

The Dutch glasshouse-industry uses mainly natural gas boilers for heating. The heat demand may also be partly supplied by a heat pump. A heat pump saves energy as it produces heat more efficiently than a conventional gas boiler but the investment of capital, the electricity consumption and the costs of maintenance are higher than of a gas boiler. The heating system must also be specially adapted and the exhaust gasses are less clean. Besides the use as heat source the heat pump can also produce electricity when a generator is connected.

In the beginning of the eighties there was an interest in the heat pump because of the high energy prices. At the moment there is no interest due to the low energy prices. In the future however prices could increase again and energy saving may also become important because of environmental demands. The heat pump may then be part of the solution.

Although there has been a lot of research on the heat pump, it did not result in a coherent view. In particular not everything is known about the integration of a heat pump in a glasshouse and about the influence of farm circumstances. In this report the available data and technical experience have been gathered and analysed to come to an overall view of the heat pump in the glasshouse-industry. This information is then used to make a farm economic evaluation.

With the present knowledge and experience it is possible to install a good working heat pump in a glasshouse holding. The heating capacity and the integration in the heating system are very important. About the capacity there is more insight than about the integration of a heat pump in the heating system.

The main difference between a heat pump and a gas boiler is the large quantity of water with a low temperature (low grade heat) which a heat pump produces. This demands another strategy of heating the glasshouse because the heating system must be extended with a secondary heating system. Many glasshouse holdings have already a small secondary heating system for the low grade heat from the combustion gas condensor. When this is the case the secondary heating system must be extended. The heat exchanching capacity of the secondary heating system must correspond with the heating capacity of the heat pump. However a large secondary heating system in a glasshouse has its practical problems. Therefore the maximum heating capacity of a heat pump is limited by the extension of the secondary heating system. In case of eight poly-ethylene tubes per 3,20 m glasshouse and low grade heat from the gas condensor, the maximum capacity for the heat pump in a glasshouse is 40 W per m2.

The measuring of the results shows that there are big differences in performance of the various heat pumps in glasshouse holdings (heat efficiency, coverage of heat demand, gas savings and electricity consumption). These differences are caused by the technical design of the heat pump (type of heat pump, heating capacity and presence of generator) and the individual situation on the holding (extension secondary heating system, heat-intensity, CO_2-enrichment and gas condensor type).

Taken into account the technical possibilities of this moment, the following performances may be expected from a compressor heat pump driven by a gas engine (in case of 40 W per m2 heating capacity, CO_2-enrichment and no generator) in case of a water-to-water heat pump: a heat efficiency on an annual basis of 210 % (caloric value of 31,65 MJ per m3 of natural gas), a coverage of the heat demand of 38% and 2 kWh additional electricity consumption per GJ produced heat; in case of an air-to-water heat pump with a silent evaporator (without fans) 180%, 35% respectively and no additional electricity consumption and in case of an air-to-water heat pump with fan-cooled evaporators 175%, 30% and 5 kWh per GJ respectively. This means that the technical achievements of a water-to-water heat pump are the best. The realised coverage of the heat demand throughout the year is lower than the theoretical calculated coverage of the heat demand.

By the farm economic evaluation the price of natural gas has been calculated at a rate which shows no difference in costs between only using the gas boiler or a heat pump in base load (40 W per m2 heating capacity). This price is called the break even point. Calculations have been made for three types of heat pumps in different circumstances (holding-size, heat intensity, presence of generator and gas condensor and type of condensor). Further, possible future developments have been investigated (lower investment of capital and costs of maintenance and a higher coverage of the heat demand and heat efficiency).

In the basic situation with a heat intensity of 50 m3 natural gas equivalent (one natural gas equivalent is 31,65 MJ) per m2 glass per year, a double gas condensor and no generator the break even point for a water-to-water heat pump in a holding of 12.500 m2 is 67 cents per m3 natural gas. This means that in such a situation it is more profitable to use a heat pump in comparison to a gas boiler when the gas price is structural higher then 67 cents. For an air-to-water heat pump with a silent evaporator the break even point in this situation is 84 cents and for an air-to-water heat pump with fan-cooled evaporators it will be 125 cents per m3 gas. The water-to-water heat pump gives the best results.

A larger holding, a higher heat-intensity or the use of another type or no gas condensor will result in a lower break even point. In the basic situation on a holding of 25.000 m2 the break even point for a water-to-water heat pump is 61 cents. The heat intensity has the most influence on the break even point. In

the situation of a water-to-water heat pump in a holding of 25.000 m2, a heat intensity of 70 m3 natural gas equivalent and a single gas condensor connected at a secondary heating system the break even point is 39 cents per m3 natural gas.

These prices are lower than the high gasprices in the Netherlands in 1984 and 1985. The use of a generator to create electricity has no farm economic advantages.

Developments in the future which would lead to a lower investment of capital or costs of maintenance or improvement of technical achievements could further improve the farm economic perspectives.

1. Inleiding

In de Nederlandse glastuinbouw wordt de benodigde warmte op het merendeel van de bedrijven met aardgasgestookte ketels geproduceerd. Naast de gasketel bestaan er alternatieve warmtebronnen die een deel van de benodigde warmte kunnen leveren, de warmtepomp is er één van. Met een warmtepomp wordt met een hoog rendement warmte geproduceerd waardoor gas wordt bespaard. De investeringen, het elektriciteitsverbruik en de onderhoudskosten zijn echter hoger en de uitlaatgassen zijn minder schoon. Tevens brengt de warmtepomp veranderingen in het verwarmingssysteem met zich mee. Naast het gebruik als warmtebron kan een warmtepompinstallatie door toevoeging van een generator gebruikt worden om elektriciteit te produceren.

In de eerste helft van de tachtiger jaren is een veertigtal warmtepompen op glastuinbouwbedrijven geplaatst (Benninga, 1987). De energieprijzen waren hoog en de warmtepomp leek een aantrekkelijke energiebesparingsmogelijkheid. Momenteel is er geen belangstelling voor warmtepompen door de lage brandstofprijzen.

Het nuttig gebruik van een warmtepomp hangt af van de technische prestaties, de inpassing in het bedrijf en de bedrijfsomstandigheden waaronder het wordt gebruikt. Er is al veel onderzoek gedaan onder andere door van een aantal warmtepompen de technische prestaties gedurende langere tijd te meten. Deze gegevens hebben nog geen samenhangend beeld opgeleverd, met name de inpassing van de warmtepomp in het tuinbouwbedrijf en de invloed van de bedrijfsomstandigheden zijn onvoldoende uitgekristalliseerd. Dit is echter van groot belang voor het bepalen van het bedrijfseconomisch perspectief en de positie van de warmtepomp bij eventuele prijsstijgingen van brandstoffen in de toekomst.

De doelstelling van dit onderzoek is tweeledig. Ten eerste het bijeenbrengen van de beschikbare meetresultaten, technische kennis en ervaring zodat onderlinge vergelijking mogelijk wordt en een overall beeld ontstaat. Ten tweede het aangeven van de bedrijfseconomische perspectieven van de warmtepomp in de glastuinbouw door het berekenen van de gasprijs waarbij de warmtepomp voor de tuinbouw interessant wordt. Niet ingegaan wordt op de investeringsbeslissing van de individuele tuinder.

De warmtepomptypen waarvan geen of onvoldoende meetresultaten beschikbaar zijn (lucht/lucht warmtepomp met eventueel kasluchtontvochtiging en elektrisch aangedreven warmtepomp) en warmtepompen die gebruikt worden voor grondkoeling blijven hier buiten beschouwing. Mogelijke toekomstige ontwikkelingen zoals de absorptiewarmtepomp of rookgasreiniging waardoor CO_2-dosering met de rookgassen van de warmtepomp mogelijk wordt, blijven eveneens onbesproken. Er wordt geen vergelijking gemaakt met andere alternatieven.

2. Methode van onderzoek

Voor dit onderzoek zijn jaarrondmeetgegevens van acht bedrijven met een warmtepomp bijeengebracht. De metingen zijn tussen 1982 en 1988 uitgevoerd. De meetresultaten zijn onderling vergeleken en geanalyseerd. Door dit te combineren met de technische kennis en ervaring uit de praktijk wordt inzicht verkregen in de prestaties van warmtepompen in de glastuinbouw en de voor- en nadelen van de verschillende warmtepomptypen. Vanwege de verschillen in technische uitvoering is een indeling gemaakt in drie typen warmtepompen: het water/water type (warmtebron/warmteafgevend medium), het lucht/water type met stille verdamper en het lucht/water type met geforceerde verdamper.

Bij de bedrijfseconomische evaluatie staat de vraag centraal bij welke gasprijs de warmtepomp voor de tuinbouw interessant wordt. Hierbij wordt de gasprijs berekend waarbij de kosten van warmteproduktie met een warmtepomp gelijk zijn aan het produceren van warmte met de gasketel. Deze zogenaamde equivalentieprijs is verkregen door de gemiddelde jaarkosten te berekenen. Bij de berekening wordt rekening gehouden met de relatie tussen de elektriciteitsprijs en de gasprijs. Voor de gegevens over de technische uitvoering en de inpassing in het bedrijf is uitgegaan van de opgedane kennis en ervaring op de bedrijven met een warmtepomp. De technische prestaties zijn zo goed mogelijk ingeschat op basis van de meetresultaten. De investeringen zijn gebaseerd op gegevens van een enquête over warmtepompen in de glastuinbouw uitgevoerd door het LEI (Benninga, 1987).

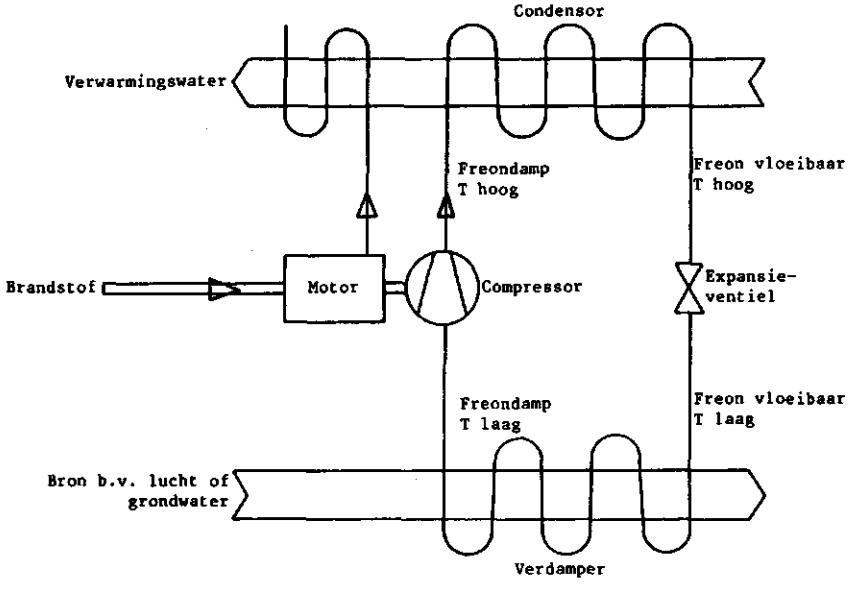
De omstandigheden op de bestaande glastuinbouwbedrijven lopen sterk uiteen. Als uitgangssituatie voor de bedrijfseconomische evaluatie is gekozen voor de situatie op een middelgroot en groot stookbedrijf. Daarnaast is de invloed van een aantal bedrijfsomstandigheden onderzocht. Hierdoor wordt duidelijk onder welke bedrijfsomstandigheden de warmtepomp het meeste perspectief biedt. Ook is de gevoeligheid van de equivalentieprijs bepaald voor veranderingen in de investeringen, de onderhoudskosten en de technische prestaties.

3. Warmtepomp, achtergronden en inpassing

3.1 Warmtepomp

3.1.1 Werking

Een warmtepomp is een apparaat dat warmte van een laag temperatuurniveau onttrekt aan een medium zoals water of lucht en op een hoger temperatuurniveau brengt, waarna het kan worden afgegeven aan een ander verwarmingsmedium zodat het kan worden gebruikt voor de verwarming van kassen. Een warmtepomp maakt gebruik van het feit dat koelmiddelen (zoals Freon) bij lage druk en temperatuur verdampen en bij hogere druk en temperatuur condenseren. Aan de hand van figuur 3.1 zal het principe van de werking van de warmtepomp worden beschreven.



Figuur 3.1 Principe van de werking van een warmtepomp

Uitgangspunt in figuur 3.1 is een warmtepomp met Freon als koelmiddel. In de verdamper wordt Freon verdampt en neemt warmte op uit een warmtebron (meestal grondwater of buitenlucht) zonder in temperatuur te stijgen. Het verdampte Freon wordt naar de compressor geleid en gecomprimeerd naar een hogere druk. De compressor wordt aangedreven door een motor. De via de compressor toegevoerde energie wordt door het Freon opgenomen. Vanuit de compressor gaat de de Freondamp naar de condensor, waar het condenseert op een hoger temperatuurniveau. De warmte die hierbij vrijkomt wordt gebruikt voor het verwarmen van de kas. Het gecondenseerde Freon wordt door het expansieventiel geleid, waarna weer de lage druk en verdampertemperatuur verkregen zijn. Naast warmte uit de condensor van de warmtepomp komt er ook warmte vrij uit de motor- en rookgaskoeling. Deze warmte wordt ook gebruikt voor de verwarming van de kas.

Het thermisch rendement van een warmtepomp wordt aangegeven met de warmteverhouding en is gedefinieerd als de verhouding tussen de toegevoerde energie (brandstof voor de motor) en de aan het verwarmingssysteem geleverde warmte. De hoeveelheid warmte die door de warmtepomp geleverd wordt (vrijkomende warmte van condensor, motor- en rookgaskoeling) is groter dan de energie in de brandstof die gebruikt wordt in de motor.

De warmtepompen die in de tuinbouw gebruikt worden, nemen warmte op uit water of lucht en staan dit af aan het verwarmingssysteem van de kas. Warmtepompen kunnen worden ingedeeld naar warmtebron en warmte-afgevend medium. Wanneer bijvoorbeeld over een lucht/water warmtepomp wordt gesproken, dan wordt een warmtepomp bedoeld die warmte opneemt uit lucht en afgeeft aan water.

3.1.2 Compressor en motor

Warmtepompen hebben een compressor om het gasvormige Freon te comprimeren. Het meest toegepast is de zuigercompressor. Een nadeel van de zuigercompressor is de asafdichting. Bij een slechte afdichting kan Freongas ontsnappen wat motorschade en milieuverontreiniging tot gevolg heeft. Om motorschade te voorkomen wordt de ruimte waar de warmtepomp staat, geventileerd.

Bij de meeste in de tuinbouw gebruikte warmtepompen wordt de compressor aangedreven door een gasmotor. Een aantal warmtepompen heeft een dual-fuel motor die op een mengsel van gas en dieselolie werkt. De dual-fuel motor wordt toegepast wegens een beweerde rendementsverbetering en een lagere investering. Door technische gebreken, onder andere de regeling van de hoeveelheid diesel, heeft deze motor zijn nut niet bewezen. Andere nadelen zijn een complexe installatie en een zwaardere constructie.

Soms wordt een elektromotor gebruikt, meestal in combinatie met een TE (Total Energy) installatie. De compressor wordt dan niet mechanisch maar elektrisch aangedreven. In een TE-motor wordt ook gas of dual-fuel gebruikt als brandstof. Bij het koelen van de motor en de uitlaatgassen komt warmte vrij die aan het verwarmingssysteem kan worden afgegeven.

De rookgassen van een gas- en dual-fuel motor zijn minder schoon dan van een gasketel (door meer NOx en onverbrande koolwaterstoffen). Hierdoor zijn de rookgassen niet te gebruiken voor CO_2-dosering. Er worden door de overheid eisen gesteld aan de NOx-emissie door gasmotoren. Nieuwe installaties moeten vanaf 1990 voldoen aan de eis van 270 g per GJ vermenigvuldigd met een factor gelijk aan een dertigste van het motorrendement. Door lean burn motoren te gebruiken kan aan deze eis worden voldaan. Vanaf 1993 zal de norm worden aangescherpt tot 190 g NOx per GJ. Voor bestaande gasmotoren is de huidige norm 800 g per GJ (Milieuprogramma). Ter vergelijking: een gasketel heeft een NOx-uitstoot van ongeveer 50 g per GJ.

Om geluidsoverlast door de motor, compressor en eventuele ventilatoren te voorkomen moeten geluidswerende voorzieningen worden getroffen.

3.1.3 Warmtebron en verdamper

De warmtepompen in de tuinbouw gebruiken lucht (buitenlucht en rookgassen) of water (grondwater) als warmtebron. De prestaties van warmtepompen met buitenlucht als warmtebron zijn afhankelijk van de buitentemperatuur. De prestaties zijn het laagst in de periode met de grootste warmtevraag omdat de temperatuur van de buitenlucht dan ook het laagst is.

Grondwater heeft gedurende het jaar een vrijwel constante temperatuur waardoor de prestaties van warmtepompen met grondwater als warmtebron in perioden met een lage buitentemperatuur beter zijn. Om grondwater te kunnen gebruiken worden één of meer aanvoer- en retourbronnen op voldoende afstand van elkaar aangelegd. Het is niet overal mogelijk een bron te slaan en waar dit wel mogelijk is, is dit aan vergunningen gebonden.

Bij de verdampers worden drie typen onderscheiden:

- badverdamper;
- stille verdamper;
- geforceerde verdamper.

De badverdamper is compact te bouwen en wordt toegegepast bij water/water warmtepompen. Het nadeel van deze verdamper is het gevaar voor corrosie en verstopping en er moet jaarlijks demontage plaatsvinden voor onderhoud en inspectie.

De stille verdamper bestaat uit een rek van koperen pijpen waardoor koelmiddel stroomt en die zodanig wordt opgesteld dat de wind er vrij langs stroomt. Om voldoende warmte te kunnen opnemen moet de verdamper een groot oppervlak hebben. Hierdoor heeft deze verdamper een zware constructie en kan er lichtverlies voor het gewas in de kas ontstaan. In tegenstelling tot de geforceerde verdamper is er geen extra energie nodig voor het luchttransport.

De geforceerde verdamper is een koelblok waarbij ventilatoren de lucht over de verdamper leiden. Door de geforceerde aanstroming van de lucht kan de verdamper beperkt van oppervlak

blijven. De ventilatoren veroorzaken echter een hoog elektriciteitsverbruik en geluidsoverlast. Bij vochtige lucht en buitentemperaturen tussen 0 en 8°C (bijvoorbeeld mist in het najaar) gaat de verdamper aanvriezen. Ter ontdooiing wordt een deel van de verwarmingscapaciteit van de warmtepomp gebruikt wat ten koste gaat van de warmtelevering door de warmtepomp aan de kas.

3.1.4 Generator

Naast het gebruik van de motor voor aandrijving van de compressor kan deze ook worden gebruikt voor aandrijving van een generator die elektriciteit produceert. De installatie produceert dan naast warmte ook elektriciteit. Het brengt echter een hogere investering en meer onderhoud met zich mee en de warmteverhouding van de warmtepompinstallatie daalt omdat het thermisch rendement van een generator laag is. De mate waarin de warmteverhouding daalt, hangt af van het vermogen van de motor en de hoeveelheid elektriciteit die wordt geproduceerd. Als het motorvermogen volledig op de warmtepomp is afgestemd dan zal het gebruik van een generator ten koste gaan van de capaciteit van de warmtepomp. Dit is te voorkomen door te kiezen voor een wat grotere motor die voldoende capaciteit heeft om zowel de warmtepomp als de generator aan te drijven. De investering stijgt hierdoor extra maar daar staat tegenover dat de warmteverhouding minder daalt en het thermisch vermogen van de installatie gelijk kan blijven.

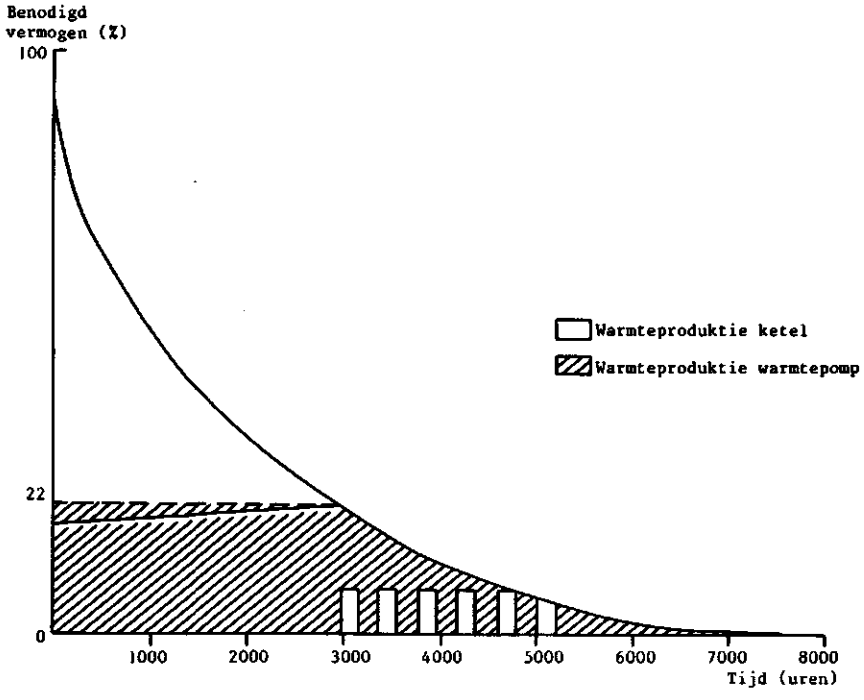
3.2 Inpassing in tuinbouwbedrijf

3.2.1 Basislast

De warmtebehoefte van een glastuinbouwbedrijf is afhankelijk van onder andere het teeltplan, de buitentemperatuur, de kas, de instraling en de wind. De warmtebehoefte gedurende het jaar wordt weergegeven met een jaarbelastingduurcurve (zie figuur 3.2). In figuur 3.2 wordt aangegeven hoeveel uur per jaar de warmtebehoefte groter of kleiner is dan een bepaalde waarde. De oppervlakte onder de curve geeft de totale warmtebehoefte weer. Uit deze jaarbelastingduurcurve blijkt dat de maximale warmtevraag maar gedurende een zeer beperkte periode voorkomt, bijvoorbeeld bij strenge kou, veel wind en weinig instraling of bij het opstoken naar de dagtemperatuur.

Op een tuinbouwbedrijf voorziet een warmtepomp in de basislast van de warmtebehoefte om de investering en de aanpassing van het verwarmingssysteem te beperken. De ketel blijft nodig voor de pieklast en voor het produceren van CO_2. In figuur 3.2 is de basislast gearceerd weergegeven bij een warmtepomp met 22% van het totaal benodigde vermogen. Bij een totaal benodigd vermogen van 180 W per m2 is dat 40 W per m2. In perioden waarin de warmtepomp volledig in de warmtebehoefte kan voorzien, gaat het produceren

van CO_2 met de gasketel ten koste van de warmteproduktie door de warmtepomp (dit zijn de blokken in het gearceerde deel). Er zijn twee lijnen die het vermogen van de warmtepomp aangeven. De onderbroken rechte lijn is van een water/water warmtepomp en de schuine lijn is van een lucht/water warmtepomp. De lucht/water warmtepomp komt tot een lagere dekking doordat het vermogen afhangt van de buitentemperatuur. De warmtepomp kan volgens de jaarbelastingduurcurve ongeveer de helft van de warmtebehoefte dekken.



Figuur 3.2 Voorbeeld van een jaarbelastingduurcurve waarin aangegeven de warmtelevering van de gasketel en de warmtepomp (rechte vermogenslijn hoort bij een water/water warmtepomp en schuine lijn bij een lucht/water warmtepomp)

3.2.2 Hoog- en laagwaardige warmte

- *Gasketel*

Op de meeste glastuinbouwbedrijven wordt in de warmtebehoefte voorzien met een gasketel. Deze levert hoogwaardige warmte met een temperatuur van maximaal 90°C. In de kas wordt de warmte afgegeven door een verwarmingsnet dat meestal uit 51 mm stalen buizen bestaat. In combinatie met de ketel kan een rookgascondensor worden gebruikt. Een rookgascondensor verhoogt het rendement van de ketel omdat de rookgassen verder worden afgekoeld. Er worden drie typen condensors onderscheiden:

- enkele condensor op de retour;
- enkele condensor op een apart verwarmingsnet;
- combicondensor.

De enkele condensor op apart net en de combicondensor leveren verwarmingswater van 30 tot 50°C. Om deze laagwaardige warmte in de kas te kunnen afgeven wordt een apart verwarmingsnet aangelegd.

- *Warmtepomp*

Een warmtepomp levert zowel hoog- als laagwaardige warmte. De hoogwaardige warmte (20 - 25% van de totale warmte) komt van de motorkoeling en de laagwaardige warmte is afkomstig van de condensor en de rookgaskoeling.

Een warmtepomp heeft een hogere warmteverhouding naarmate het temperatuurverschil dat moet worden overbrugd tussen de warmtebron en het retourwater van de kasverwarming kleiner is. Omdat de temperatuur van de warmtebron meestal niet hoog is, moet gestreefd worden naar een lage retourtemperatuur. Een voldoende lage retourtemperatuur wordt gerealiseerd met een verwarmingsnet waarvan de omvang is afgestemd op het vermogen van de warmtepomp.

Voor het aanwenden van de laagwaardige warmte is evenals bij de laagwaardige warmte van de condensor van de gasketel een apart net nodig. Ten aanzien van het gebruik van de hoogwaardige warmte van de warmtepomp zijn er twee mogelijkheden:

1. zowel de hoog- als de laagwaardige warmte komen in hetzelfde aparte verwarmingsnet terecht. Dit betekent dat er een extra groot apart verwarmingsnet moet worden aangelegd om een lage retourtemperatuur te realiseren;
2. de hoogwaardige warmte komt in het hoogwaardige verwarmingsnet dat is aangesloten op de ketel. Hierdoor kan het aparte (laagwaardige) net kleiner van omvang blijven of kan er voor een grotere capaciteit van de warmtepomp worden gekozen. Deze mogelijkheid levert echter regeltechnische problemen op en komt in de praktijk weinig voor.

- *Gasketel en warmtepomp*

Een bedrijf met een combicondensor of condensor op apart net èn een warmtepomp heeft een apart verwarmingsnet nodig voor con-

densor en warmtepomp. Het gebruik van zowel een apart net voor de condensor van de gasketel als een apart net voor de warmtepomp is uit kostenoverwegingen niet aan te bevelen (Van der Velden, 1989) en wordt in de praktijk ook weinig toegepast. Beide warmtestromen worden daarom meestal gezamenlijk in één verwarmingsnet aangewend.

De wijze waarop de warmtepomp en de condensor op het laagwaardige verwarmingsnet zijn aangesloten is van invloed op het rendement van zowel de warmtepomp als de condensor. De warmtepomp kan parallel of in serie staan met de condensor. In de praktijk is de regeltechnische inpassing van de gasketel en de warmtepomp in het verwarmingssysteem nog niet voldoende uitgekristalliseerd.

3.2.3 Laagwaardig verwarmingsnet

Het warmte-afgevend vermogen, ofwel de omvang van het laagwaardige net, is van groot belang voor de prestaties van de warmtepomp. Het bepaalt zelfs het maximaal te installeren thermisch vermogen van de warmtepomp. Een groot laagwaardig verwarmingsnet in een kas kan praktische problemen geven. Bij een gegeven maximale omvang van het laagwaardige net kan berekend worden welk thermisch vermogen maximaal geïnstalleerd kan worden.

Het laagwaardige net bestaat meestal uit 20 of 25 mm polyethyleen (p.e.) slangen eventueel in combinatie met een stalen 51 mm buis. Bij een aanvoer- en retourtemperatuur van respectievelijk 45 en 35°C en een kastemperatuur van 20°C heeft een p.e. slang per 3,20 m kap een warmte-afgifte van 6 tot 7 W per m2 en een stalen 51 mm buis van ongeveer 13 W per m2 kas (Nawrocki, 1985). De slangen zijn dan vrij van de grond geïnstalleerd.

Een laagwaardig net dat uit acht p.e. slangen of zes p.e. slangen plus één 51 mm stalen buis per 3,20 m kap bestaat heeft een warmte-afgevend vermogen van ongeveer 54 W per m2. Het vermogen aan laagwaardige warmte van de condensor is ongeveer 10% van het door de gasketel geleverde vermogen. Bij een maximaal benodigd vermogen van 180 W per m2 kan een warmtepomp van 40 W per m2 worden geplaatst. De resterende 140 W per m2 wordt dan door de ketel geleverd waarvan 14 W per m2 laagwaardige warmte via de condensor. Het warmte-afgevend vermogen van het laagwaardige net is dan 54 W per m2.

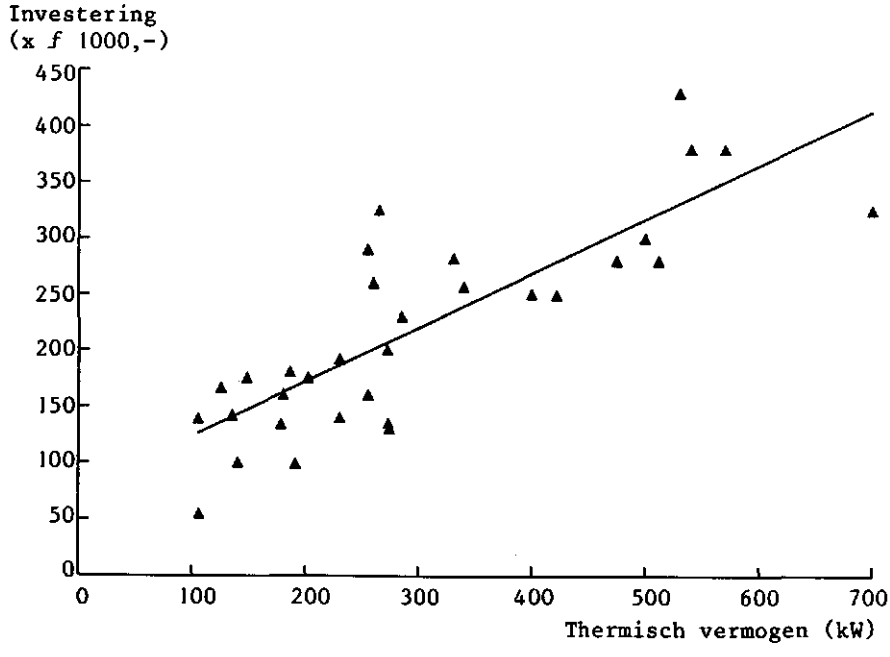
3.3 Investering en onderhoud

Bij de aanschaf van een warmtepomp moet naast de warmtepomp zelf rekening worden gehouden met een aantal bijkomende voorzieningen die de totale investering aanzienlijk kunnen verhogen zoals:

- aanpassen van het verwarmingssysteem;
- fundatie;

- geluidsisolerende maatregelen;
- aansluiting op gas- en elektriciteitsnet;
- aanpassen van regelapparatuur;
- vergunningen.

De investering in de warmtepomp is afhankelijk van het geïnstalleerd vermogen. Uit investeringsgegevens van de LEI-enquête over warmtepompen is deze relatie berekend en in figuur 3.4 weergegeven.



Figuur 3.4 Investering in relatie tot het geïnstalleerd vermogen van de warmtepomp met bijbehorende regressielijn
Naar Benninga, 1987.

De vergelijking die de relatie beschrijft, luidt:
I = 75.000 + 480X en heeft betrekking op warmtepompen met een thermisch vermogen vanaf 100 kW. Hierbij is I de investering (in guldens) en X het totaal geïnstalleerd thermisch vermogen (in kW). Dit is de investering in de totale warmtepomp-unit inclusief

fundatie, geluidswerende voorzieningen en aansluiting en exclusief BTW, generator en laagwaardig temperatuurnet. Uit de vergelijking volgt dat een warmtepomp met een klein vermogen per kW duurder is dan een warmtepomp met een groot vermogen.

De investeringen die specifiek zijn voor de verschillende typen warmtepompen wegen ongeveer tegen elkaar op. Elk type warmtepomp heeft een kostbaar element. Bij het water/water type is dat het slaan van minimaal één aanvoer- en retourbron en bij de lucht/water warmtepomp is dit het verdampergedeelte.

Om langdurige stilstand door technische storingen te voorkomen is goed onderhoud noodzakelijk. Het onderhoud omvat onder andere olie en Freon bijvullen, periodieke inspectie en vervanging van onderdelen van de installatie.

Voor het onderhoud kunnen onderhoudscontracten worden afgesloten. Dit kan een all-in contract zijn voor een bepaalde periode (5 of 10 jaar) met een vast bedrag per jaar of een vast bedrag per draaiuur van de installatie. De praktijk geeft aan dat de jaarlijkse onderhoudskosten van een warmtepomp al snel een bedrag ter hoogte van 4% van de investering bedragen. Bij gebruik van een generator stijgen de jaarlijkse onderhoudskosten tot ongeveer 5% van de investering.

4. Meetresultaten

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de meetresultaten van acht bedrijven met een warmtepomp beschreven en geanalyseerd. De technische prestaties van de warmtepompen op deze bedrijven zijn gedurende minimaal één jaar gemeten. In tabel 4.1 staan enkele kenmerken van de warmtepompen. Vier zijn er van het type water/water (type w/w), drie van het type lucht/water met stille verdamper (type ls/w) en één van het type lucht/water met geforceerde verdamper (type lf/w). Bij vijf warmtepompen wordt met een generator elektriciteit geproduceerd en op één bedrijf gebeurt dit met een TE voor onder andere de aandrijving van de warmtepomp. Verder is er een warmtepomp met een dual-fuel motor en de overige zes warmtepompen hebben een gasmotor.

Tabel 4.1 Kenmerken van de gemeten warmtepompen

Bedrijfs-nummer	Type pomp (*)	Soort brandstof	Gebruik generator/TE
1	w/w	gas	-
2	w/w	gas	generator
3	w/w	gas en diesel	generator
4	w/w	gas	generator
5	ls/w	gas	-
6	ls/w	gas	generator
7	ls/w	elektriciteit	TE
8	lf/w	gas	generator

(*) w/w = water/water met badverdamper; ls/w = lucht/water met stille verdamper; lf/w = lucht/water met geforceerde verdamper.

Van alle bedrijven zijn de gegevens op uniforme wijze in een overzicht geplaatst om onderlinge vergelijking mogelijk te maken. Een dergelijk overzicht staat in tabel 4.2. Dit overzicht is ingevuld voor bedrijf 2 en wordt op enkele punten toegelicht.

Tabel 4.2 Overzicht jaarrondmeting warmtepomp (w.p.) op bedrijf 2

Gegeven	Eenheid	Sept '85 - Sept '86
Oppervlak aangesloten op w.p.	m2 glas	25.600
Teelt		tomaten en komkommers
Type pomp - brandstof		aardgas
- warmtebron		grondwater
- verdamper		badverdamper
Laagwaardig net		8 p.e. per 3,20 m kap
Geïnst. thermisch vermogen w.p.	kW (W/m2)	1.042 (41)
Elektrisch vermogen generator	kW	10 - 40
Draaiuren w.p.	uur	6.666
Brandstofverbruik w.p.	nm3 gas	404.117
Warmteproduktie w.p.	GJ	22.426
Seizoenswarmteverhouding w.p.	% o.w.	175
Elektriciteitsverbruik w.p.	kWh (/GJ)	39.997 (1,8)
Elektriciteitsproduktie	kWh	197.062
Gasverbruik ketel	nm3	1.233.537
Type rookgascondensor		combi
Gebruiksrendement ketel	% o.w.	103
Warmteproduktie ketel	GJ	40.213
Totale warmteproduktie	GJ	62.639
	m3 a.e/m2	77
Warmtedekking	%	36
CO_2-dosering		zuiver CO_2
Theoretisch gasverbruik	nm3	1.902.996
Gasbesparing w.p.	nm3 (%)	265.342 (14)
Elektriciteitsbesparing	kWh	157.065

De gegevens in dit overzicht die op meting berusten zijn het aantal draaiuren, het brandstofverbruik, de warmteproduktie, het elektriciteitsverbruik en de elektriciteitsproduktie van de warmtepompinstallatie en het gasverbruik van de ketel. Enkele gegevens zoals het geïnstalleerd vermogen van de warmtepomp, de uitvoering van het laagwaardige net en het type condensor bij de ketel zijn waargenomen. De overige gegevens zijn berekend.

De seizoenswarmteverhouding (in het vervolg afgekort tot SWV) is de verhouding tussen toegevoerde energie aan brandstof in de motor en de geleverde warmte op jaarbasis. De SWV wordt als volgt berekend:

Geleverde warmte
---------- x 100% =
Stookwaarde aan brandstof

22.426.000 MJ
---------- x 100% = 175%
404.117 m3 x 31,65 MJ

Voor de berekening van de gebruikte hoeveelheid energie aan brandstof is gerekend met de onderste verbrandingswaarde (o.w.) van de brandstof. Voor aardgas is dat 31,65 MJ per m3. Een TE die de warmtepomp aandrijft of een generator is als onderdeel van de totale installatie beschouwd. De gemeten gegevens zijn daarom inclusief eventuele TE of generator.

Aan de hand van het gemeten gasverbruik van de ketel is de warmteproduktie van de ketel berekend. Voor deze berekening moet het gebruiksrendement van de ketel worden ingeschat. Het rendement is afhankelijk gesteld van het gebruik van een condensor en het type condensor. Als de ketel volledig in de warmtebehoefte voorziet bedraagt het rendement bij:

- geen condensor 90% o.w.;
- een enkele condensor op retour 95% o.w.;
- een enkele condensor op apart net 100% o.w.;
- een combicondensor 104% o.w.

Bij gebruik van de ketel voor de pieklast daalt het rendement van de ketel (Van der Velden, 1989). De mate waarin is afhankelijk van het aandeel van de warmtepomp in de totale warmteproduktie en van de warmte-intensiteit (warmtevraag). De gehanteerde gebruiksrendementen zijn hiervoor gecorrigeerd.

De totale warmteproduktie is de warmte van de warmtepomp plus de ketel en is zowel uitgedrukt in GJ als in m3 aardgasequivalenten per m2. Een aardgasequivalent (a.e.) is gelijkgesteld aan 31,65 MJ.

De warmtedekking is het aandeel van de warmtepomp in de jaarlijkse warmteproduktie en geeft aan in hoeverre de warmtepomp in de warmtebehoefte van het bedrijf voorziet.

Het theoretisch gasverbruik is de hoeveelheid gas die verbruikt zou worden als er geen warmtepomp is geïnstalleerd. De benodigde warmte wordt dan volledig geproduceerd met de gasketel die een lager rendement heeft dan de warmtepomp.

Het theoretisch gasverbruik is:

Totale warmteproduktie
---------- =
Stookwaarde gas x rendement ketel volledig gas

62.639.000 MJ
---------- = 1.902.996 m3
31,65 MJ x 1,04

De gasbesparing wordt berekend door het theoretisch gasverbruik te verminderen met het gemeten verbruik van de warmtepomp en de ketel.

De elektriciteitsbesparing is de elektriciteitsproduktie van de warmtepompinstallatie verminderd met het verbruik door de warmtepomp. De bespaarde elektriciteit is beschikbaar voor aanwending in het bedrijf of levering aan het openbare net.

4.2 Meetresultaten

In deze paragraaf worden de belangrijkste meetresultaten besproken en op basis hiervan wordt een inschatting gemaakt van de technische prestaties die met de huidige technische kennis verwacht mogen worden. Tabel 4.3 geeft een overzicht van de belangrijkste meetresultaten. Dit zijn gebruiksduur, SWV (inclusief eventuele generator of TE), thermisch vermogen, warmtedekking, gasbesparing en elektriciteitsverbruik. Van enkele warmtepompen zijn cijfers van meerdere jaren bekend (bedrijf 1, 2 en 8). Voor de volledige meetresultaten en de bijzonderheden per bedrijf wordt verwezen naar bijlage 1 t/m 8.

Tabel 4.3 Belangrijkste meetresultaten per bedrijf

Bedrijfs-nummer	Gebruiks-duur (uren)	SWV (% o.w.)	Thermisch vermogen (W/m2)	Warmte-dekking (%)	Gasbe-sparing (%)	Elektri-citeits-verbruik (kWh/GJ)
Type w/w:						
1 (jaar 1)	4.113	166	75	79	34	6,4
1 (jaar 2)	4.375	174	75	82	38	5,6
1 (jaar 3)	4.173	175	75	81	37	6,6
2 (jaar 1)	6.666	175	41	36	14	1,8
2 (jaar 2)	4.849	179	41	25	10	1,8
3	3.362	166	41	23	11 (*)	3,6
4	2.248	174	13	5	2	4,5
Type ls/w:						
5	5.883	192	19	15	6	- (**)
6	4.949	140	38	29	7	1,8
7	5.119	143	42	52	18	- (***)
Type lf/w:						
8 (jaar 1)	3.432	158	37	20	7	6
8 (jaar 2)	2.803	154	18	12	4	6,5

(*) hierbij is nog 20.000 l diesel verbruikt; (**) niet gemeten; (***) n.v.t. dit betreft een elektrisch aangedreven warmtepomp.

- *Draaiuren*

Als maatstaf voor de prestaties van een warmtepomp kan het aantal draaiuren een onjuiste indruk wekken. Een warmtepomp behoeft niet continu op volle capaciteit te werken en als er veel draaiuren bij lage buitentemperatuur zijn gemaakt, zijn de prestaties van lucht/water warmtepompen laag. Ook wordt er met een warmtepomp met een klein vermogen per m2 meer draaiuren gemaakt terwijl de totale warmtelevering en dus de relatieve gasbesparing aanzienlijk lager kan zijn dan van een warmtepomp met een groter vermogen en minder draaiuren.

- *Seizoenswarmteverhouding*

Tussen de seizoenswarmteverhoudingen (SWV) van de warmtepompen bestaan grote verschillen. Van invloed is het type warmtepomp, maar ook tussen warmtepompen van hetzelfde type bestaan verschillen onder andere door het al dan niet gebruiken van een generator of door een te kleine omvang van het verwarmingsnet.

In tabel 4.3 is de SWV inclusief eventueel aanwezige elektriciteitsproduktie vermeld. De invloed van het gebruik van een generator of TE op de SWV van een warmtepompinstallatie is te berekenen. Hiervoor wordt uitgegaan van een theoretische berekeningswijze die is uitgelegd in bijlage 9. De hoeveelheid geprodu-

Tabel 4.4 Seizoenswarmteverhouding (SWV) inclusief en exclusief generator of TE per bedrijf

Bedrijfs-nummer	SWV incl. generator/TE (% o.w.)	SWV excl. generator/TE (% o.w.)
Type w/w:		
1 (jaar 1)	-	166
1 (jaar 2)	-	174
1 (jaar 3)	-	175
2 (jaar 1)	175	209
2 (jaar 2)	179	217
3	166	207
4	174	188
Type ls/w:		
5	-	192
6	140	177
7	143	170
Type lf/w:		
8 (jaar 1)	158	177
8 (jaar 2)	154	174

ceerde elektriciteit bepaalt de mate waarin de SWV verandert. In tabel 4.4 is voor elke warmtepompinstallatie de SWV inclusief en exclusief elektriciteitsproduktie weergegeven.

Voor een goede vergelijking moet naar de SWV exclusief generator gekeken worden. De gegevens uit tabel 4.4 geven aan dat type w/w de hoogste SWV haalt, gevolgd door type ls/w en lf/w. Dit is te verklaren doordat type w/w gebruik maakt van grondwater dat het hele jaar een vrijwel constante temperatuur heeft, terwijl bij type ls/w en lf/w de SWV afhangt van de buitentemperatuur. Type ls/w haalt een hogere SWV dan type lf/w omdat het aanvriezen van een stille verdamper geen verlaging van de SWV tot gevolg heeft.

Om een idee te krijgen van de SWV die in de praktijk haalbaar is kan voor type w/w het best naar bedrijf 2 en 3 worden gekeken. De SWV van de warmtepomp van bedrijf 1 is laag omdat de temperatuur van het verwarmingswater dat door de warmtepomp geleverd wordt, erg hoog is (50 tot 70°C). Dit wordt veroorzaakt door een te klein verwarmingsnet ten opzichte van het vermogen van de warmtepomp. Bedrijf 4 heeft een lagere SWV vanwege een defect aan de verdamper. Verwacht wordt dat onder praktijkomstandigheden voor type w/w een SWV van 210% haalbaar is.

Bij type ls/w heeft de warmtepomp van bedrijf 5 een hoge SWV, hierbij dient opgemerkt te worden dat dit een proefproject is met deskundige begeleiding. De warmtepomp van bedrijf 6 heeft een te klein verdamperoppervlak en van bedrijf 7 een te klein verwarmingsnet. Voor dit type wordt in de praktijk een SWV van 180% haalbaar geacht. Bij type lf/w wordt verwacht dat een SWV van 175% gerealiseerd kan worden.

- *Vermogen*

Het thermisch vermogen van de warmtepomp is uitgedrukt in Watt per m2 kas. Het vermogen loopt uiteen van 13 tot 75 W per m2. Er zijn globaal drie niveaus te onderscheiden. Warmtepompen met een laag vermogen per m2 (circa 10 - 20 W per m2), warmtepompen met een vermogen van ongeveer 40 W per m2 en één warmtepomp met 75 W per m2.

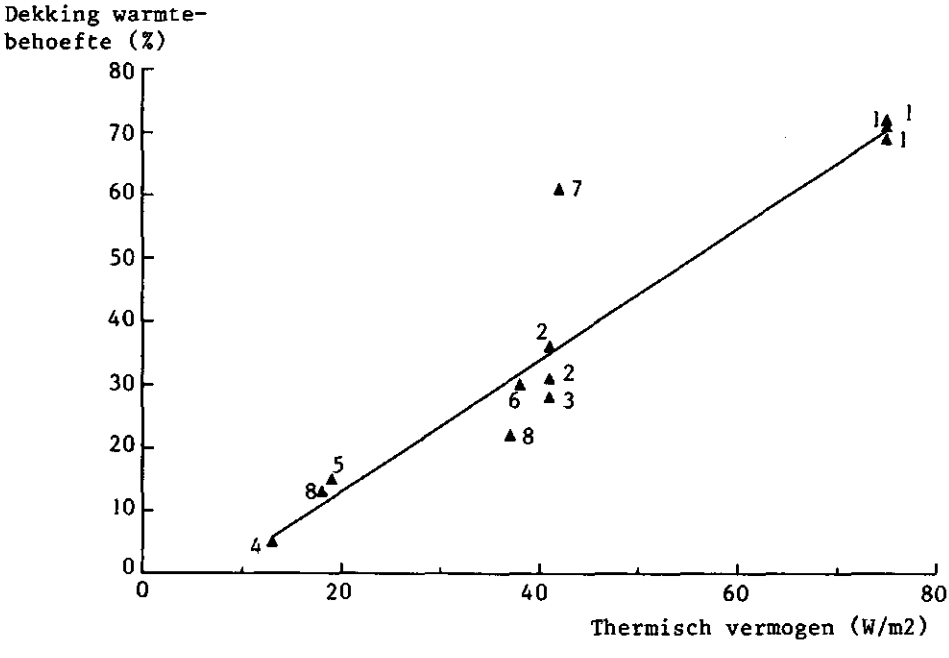
- *Warmtedekking*

Uit tabel 4.3 blijkt dat een groter vermogen resulteert in een hogere dekking. Om een betere vergelijking te kunnen maken is de dekking bij een aantal bedrijven gecorrigeerd voor CO_2-dosering en elektriciteitsproduktie.

Op bedrijf 1, 2 (jaar 1) en 6 werd geen CO_2 met de ketel geproduceerd. Met behulp van de standaard jaarbelastingduurcurve is per bedrijf berekend hoeveel lager de dekking zou zijn geweest wanneer er wel CO_2 met de ketel was geproduceerd. Hierbij is uitgegaan van 2.000 uur CO_2 doseren en een verdeling van het aantal uren naar rato van de uren dat een bepaalde warmtebehoefte voorkomt. Voor bedrijf 1 komt de dekking 10% lager uit en voor bedrijf 2 en 6 is dat 7%.

Voor bedrijf 2, 3, 4, 6, 7 en 8 is berekend wat de dekking zou zijn geweest als de brandstof die voor elektriciteitsproduktie is gebruikt, voor warmteproduktie met de warmtepomp was aangewend. Op een aantal bedrijven wordt namelijk meer prioriteit aan elektriciteitsproduktie gegeven waardoor de warmtepomp niet volledig wordt benut. Dit resulteert in een 1 tot 9% hogere dekking.

In figuur 4.1 is de gecorrigeerde dekking weergegeven. Tevens is de bijbehorende regressielijn getekend. De regressielijn geeft de relatie tussen het vermogen en de dekking weer bij warmtepompen met een vermogen van 15 tot 75 W per m2.



Figuur 4.1 Dekking in relatie tot thermisch vermogen met bijbehorende regressielijn. De dekking is gecorrigeerd voor CO_2-dosering en elektriciteitsproduktie. De nummers in de figuur zijn de bedrijfsnummers

De dekking wordt, afgezien van het vermogen, CO_2-dosering en elektriciteitsproduktie, door een aantal factoren beinvloed:
- stilstand door storingen (bedrijf 3 en 4);
- te kleine capaciteit van het verwarmingsnet ten opzichte van

de capaciteit van de warmtepomp. Alleen bedrijf 2, 4 en 5 hebben het laagwaardige net goed op het warmtepompvermogen afgestemd;
- bijmengen van hoogwaardige warmte uit de ketel in het laagwaardige net (onder andere bedrijf 7 en 8);
- aanvriezing van de geforceerde verdamper (bedrijf 8);
- energiebesparende maatregelen. Bedrijf 7 heeft een zwaar geïsoleerd kasdek waardoor de pieklast op het bedrijf kleiner is en de warmtedekking door de warmtepomp groter;
- gebruik van andere alternatieve warmtebronnen. Op bedrijf 4 werd een grote TE geplaatst, deze levert zoveel warmte dat de warmtepomp minder wordt gebruikt;
- om teelttechnische redenen aanhouden van een minimumbuistemperatuur die niet door de warmtepomp wordt geleverd.

De warmtepompen op bedrijf 2, 3, 6, 7 en 8 (jaar 1) hebben een thermisch vermogen dat ongeveer overeenkomt met het vermogen van 40 W per m2 dat bij acht p.e. slangen per 3,20 m kap geïnstalleerd kan worden (zie paragraaf 3.2.3). De warmtepompen realiseren een dekking van 22 tot 35%, met uitzondering van bedrijf 7 dat een kleine pieklast heeft. De dekking is lager dan hetgeen volgens berekening met de jaarbelastingduurcurve haalbaar moet zijn (zie paragraaf 3.2.1).

Tussen de verschillende typen warmtepompen is hier geen verschil in dekking gevonden. Toch is het zeer waarschijnlijk dat de dekking tussen type w/w, ls/w en lf/w zal verschillen omdat het vermogen van een lucht/water warmtepomp varieert met de buitentemperatuur (zie paragraaf 3.2.1). Met het gemeten vermogen van een ls/w en lf/w warmtepomp bij verschillende temperaturen en met behulp van de standaard jaarbelastingduurcurve is de dekking berekend en vergeleken met de dekking van een w/w warmtepomp. De hierbij gevonden dekkingen zijn gebruikt voor het inschatten van de haalbare dekking per type warmtepomp.

Rekening houdend met alle factoren die de dekking beïnvloeden, wordt verwacht dat met een warmtepomp van 40 W per m2 en met een verwarmingsnet dat uit acht p.e. slangen per 3,20 m kap bestaat bij type w/w een dekking haalbaar is van 38%, bij type ls/w van 35% en bij type lf/w 30%. Deze dekking is met CO_2-produktie door de gasketel en zonder elektriciteitsproduktie.

- *Gasbesparing*

De gasbesparing loopt uiteen van 2 tot 38%. De hoogte van de gasbesparing wordt bepaald door de dekking en de SWV van de warmtepomp en het rendement van de gasketel. Een hogere dekking en SWV leiden tot een grotere gasbesparing. Bij het gebruik van een rookgascondensor bij de gasketel is de besparing lager omdat het gebruiksrendement van de ketel dan hoger is.

- *Elektriciteitsverbruik*

Het elektriciteitsverbruik van een warmtepomp is afhankelijk van het type warmtepomp. Type w/w heeft een hoog elektriciteits-

verbruik door het oppompen en afvoeren van grondwater. De warmtepomp op bedrijf 1 verbruikt veel elektriciteit door het gedeeltelijk dichtstaan van een klep in de bronwatertoevoer naar de warmtepomp, een continu draaiende ventilator in de warmtepomp-unit en doordat op dit bedrijf in het elektriciteitsverbruik ook het verbruik van de waterpompen van het verwarmingssysteem is begrepen.

Type 1s/w verbruikt weinig elektriciteit. De warmtepomp op bedrijf 6 heeft echter een hoger verbruik vanwege het gebruik van een kasluchtontvochtiger.

Type 1f/w verbruikt de meeste elektriciteit. Dit wordt veroorzaakt door de ventilatoren die de lucht naar de verdamper aanvoeren.

In de praktijk wordt voor type w/w een elektriciteitsverbruik van 3 kWh per GJ verwacht, voor type 1s/w 1 kWh per GJ en voor type 1f/w 6 kWh per GJ.

5. Bedrijfseconomische evaluatie

5.1 Inleiding

Bij de bedrijfseconomische evaluatie wordt berekend bij welke gasprijs het produceren van een deel van de benodigde warmte met de warmtepomp evenveel kost als het volledig stoken met de gasketel. Dit wordt de equivalentieprijs genoemd. De elektriciteitsprijs speelt bij de berekening een belangrijke rol. De warmtepomp gebruikt zelf elektriciteit en behalve als warmtebron kan de warmtepomp ook gebruikt worden om elektriciteit te produceren.

Tussen de prijs van elektriciteit en gas bestaat een relatie. Bij stijging van de tuindersgasprijs met 10 cent per m3 zal de elektriciteitsprijs met ongeveer 3 cent per kWh stijgen (Vernooy, 1988). Hierbij wordt het brandstofpakket voor elektriciteitsproduktie constant verondersteld. De huidige gas- en elektriciteitsprijs voor de tuinder bedraagt respectievelijk ongeveer 21 cent per m3 en 15 cent per kWh. Als de gasprijs stijgt tot 31 cent per m3 dan wordt de elektriciteitsprijs 18 cent per kWh, enzovoort. De equivalentieprijs van elektriciteit wordt gebruikt bij het berekenen van de equivalentieprijs van gas. De door de warmtepomp verbruikte en eventueel geproduceerde elektriciteit wordt tegen de equivalentieprijs van elektriciteit gewaardeerd. Er wordt van uitgegaan dat eventueel geproduceerde elektriciteit wordt gebruikt door de warmtepomp en/of door het eigen bedrijf en dat er niet aan het openbare net wordt teruggeleverd.

Bij de bedrijfseconomische evaluatie worden de gemiddelde jaarkosten berekend. Dit houdt in dat de warmtepomp lineair wordt afgeschreven en gerekend wordt met de gemiddelde rente- en onderhoudskosten gedurende de levensduur van de installatie. De economische levensduur is gesteld op tien jaar omdat onderhoudscontracten van warmtepompen vaak een looptijd van tien jaar hebben en ook bij TE's wordt meestal uitgegaan van een levensduur van tien jaar. De rentevoet bedraagt 6% en de rentekosten worden berekend over de gemiddelde boekwaarde (55% van de investering). Eventuele subsidies, kapitaalverlies door het overbodig worden van een deel van de capaciteit van de bestaande gasketel en te betalen vergoedingen wegens het niet nakomen van gasafnameverplichtingen worden buiten beschouwing gelaten.

De warmtepompen die in de evaluatie worden betrokken zijn de water/water warmtepomp (type w/w), de lucht/water warmtepomp met stille verdamper (type ls/w) en de lucht/water warmtepomp met geforceerde verdamper (type lf/w). Deze drie typen worden zowel op een bedrijf met 12.500 m2 glas (middelgroot bedrijf) als op een bedrijf met 25.000 m2 glas (groot bedrijf) in beschouwing genomen. Op deze bedrijven is gekozen voor een bepaalde uitgangssituatie (warmte-intensiteit 50 m3 a.e. per m2, combicondensor en

CO_2-dosering met de gasketel). Verder zijn een aantal andere bedrijfssituaties onderzocht (gebruik generator, type rookgascondensor en hoogte warmte-intensiteit).

Naast deze bedrijfssituaties zijn eventuele toekomstige ontwikkelingen zoals een lagere investering, lagere onderhoudskosten, een hogere dekking en een hogere SWV in beschouwing genomen. De investering en onderhoudskosten zouden lager kunnen worden als de warmtepomp op grotere schaal in de glastuinbouw wordt toegepast. Technische ontwikkelingen van de warmtepomp zouden kunnen leiden tot een hogere dekking of SWV.

5.2 Uitgangspunten

5.2.1 Middelgroot bedrijf

- *Uitgangssituatie*

De uitgangspunten voor de uitgangssituatie (situatie A) voor het middelgrote bedrijf (12.500 m2) staan vermeld in tabel 5.1.

De drie typen warmtepompen onderscheiden zich in de uitgangssituatie op drie punten namelijk de SWV, de warmtedekking en het extra elektriciteitsverbruik. Het thermisch vermogen van de warmtepomp wordt bepaald door de uitvoering van het laagwaardig verwarmingsnet (zie paragraaf 3.2.3) en bedraagt hier 40 W per m2 kas ofwel 500 kW. Er wordt geen generator gebruikt. Het extra elektriciteitsverbruik van de warmtepomp is bepaald door het elektriciteitsverbruik (zie paragraaf 4.2) te corrigeren voor het minderverbruik door de ketel. Dit laatste is geschat op 1 kWh per GJ geproduceerde warmte. Bij type ls/w wordt er daardoor van uitgegaan dat het elektriciteitsverbruik niet hoger is dan wanneer alleen met de ketel wordt gestookt.

De investering is bepaald door gebruik te maken van de vergelijking uit paragraaf 3.3. De investering bedraagt ƒ 315.000,- (ƒ 75.000,- + ƒ 480,- x 500 kW). De jaarkosten voor onderhoud (all-in contract) en verzekering bedragen ƒ 12.500,-, dit is ongeveer 4% van de investering.

Het laagwaardig verwarmingsnet bestaat uit acht p.e. slangen of zes p.e. slangen plus een 51 mm stalen buis per 3,20 m kap. Hiervan worden twee slangen toegerekend aan de rookgascondensor van de ketel. Aan de warmtepomp worden zes p.e. slangen of vier slangen plus een 51 mm stalen buis toegerekend. De investering hierin bedraagt respectievelijk ƒ 7,80 en ƒ 8,85. Omdat stalen buizen over een langere periode worden afgeschreven zijn de jaarkosten voor beide ongeveer ƒ 1,10 per m2 (Van der Velden, 1989).

Tabel 5.1 Uitgangspunten voor de uitgangssituatie voor het middelgrote bedrijf

Bedrijf:
- kasoppervlak 12.500 m2
- warmte-intensiteit 50 m3 a.e. per m2 per jaar
- combicondensor
- CO_2-dosering via de gasketel
- gebruiksrendement gasketel bij vollast 104% (o.w.)
- gebruiksrendement gasketel bij pieklast 102% (o.w.)

Warmtepomp:
- gasmotorgedreven
- geïnstalleerd thermisch vermogen 40 W per m2, totaal 500 kW
- geen generator

Type pomp	SWV (% o.w.)	Dekking (%)	Extra elektriciteitsverbruik (kWh/GJ)
w/w	210	38	2
ls/w	180	35	-
lf/w	175	30	5

- investering *f* 315.000,-
- economische levensduur 10 jaar
- jaarkosten voor onderhoud en verzekering *f* 12.500,-
- uitbreiding laagwaardig verwarmingsnet met 40 W per m2, jaarkosten *f* 1,10 per m2 kas

- *Overige situaties en ontwikkelingen*

Voor de overige bedrijfssituaties en eventuele toekomstige ontwikkelingen wordt aangegeven welke en in welke mate uitgangspunten veranderen ten opzichte van de uitgangssituatie. Situatie B t/m I zijn bedrijfssituaties en J t/m O zijn ontwikkelingen die in de toekomst eventueel plaats kunnen vinden.

Situatie B: Kleine generator

Aan de warmtepomp wordt een generator van 10 kW gekoppeld die 40.000 kWh elektriciteit per jaar produceert. De elektriciteit wordt aangewend voor de warmtepomp en het eventuele resterende deel voor het bedrijf. De investering en onderhoudkosten zullen met naar schatting respectievelijk *f* 18.000,- (generator van *f* 15.000,- en grotere motor *f* 3.000,-) en *f* 4.000,- stijgen. De SWV wordt bij type w/w 189%,

bij type ls/w 164% en bij type lf/w 158%. De berekening hiervan is uitgevoerd volgens het principe zoals uitgelegd in bijlage 9.

Situatie C: Grote generator
Generator van 20 kW die op jaarbasis 80.000 kWh elektriciteit produceert. De investering neemt toe met naar schatting ƒ 23.000,- en de onderhoudskosten met ƒ 5.000,-. De SWV daalt en wordt bij type w/w 173%, bij type ls/w 152% en bij type lf/w 145%.

Situatie D: Enkele condensor op apart net
Het gebruiksrendement van de gasketel bij vollast daalt van 104 tot 100% en bij pieklast van 102 tot 98%.

Situatie E: Enkele condensor op de retour
Het gebruiksrendement bij volledige gasstook daalt van 104 tot 95% en bij pieklast van 102 tot 93%.

Situatie F: Geen condensor
Het gebruiksrendement van de gasketel bij volledige gasstook daalt van 104% tot 90% en bij pieklast van 102 naar 88%.

Situatie G: Hogere warmte-intensiteit
Uitgegaan wordt van een warmte-intensiteit van 70 in plaats van 50 m3 a.e. per m2. Hierdoor wordt het rendement bij pieklast 103%. Het warmte-afgevend vermogen van het laagwaardige net en de dekking worden gelijk gehouden.

Situatie H: Lagere warmte-intensiteit
In deze situatie wordt uitgegaan van 30 i.p.v. 50 m3 a.e. per m2. Het rendement bij pieklast wordt 101%. Het warmte-afgevend vermogen van het laagwaardige net en de dekking worden gelijk gehouden.

Situatie I: D + G
Uitgegaan wordt van een bedrijf met een condensor op een apart net en een warmte-intensiteit van 70 m3 a.e. per m2. Het pieklastrendement wordt dan 99%.

Situatie J: Lagere investering
In deze situatie wordt uitgegaan van een 25% lagere investering. De investering wordt dan ƒ 235.000,-. De onderhoudskosten blijven gelijk aan die in de uitgangssituatie.

Situatie K: Lagere onderhoudskosten
Uitgegaan wordt van 25% lagere onderhoudskosten. De onderhoudskosten bedragen dan ƒ 9.500,- per jaar.

Situatie L: Hogere dekking
In deze situatie wordt uitgegaan van een 25% hogere dekking voor elk type. Dit betekent voor type w/w een dekking van 48%, type ls/w 44% en type lf/w 38%. Het rendement van de pieklastgasketel daalt van 102 naar 101%.

Situatie M: Hogere SWV
Uitgegaan wordt van een SWV die voor elk type 10 pro-

centpunten hoger is: 220% voor type w/w, 190% voor type ls/w en 185% voor type lf/w.

Situatie N: J + K + L + M
Er wordt van uitgegaan dat alle eventuele toekomstige ontwikkelingen plaatsvinden.

Situatie O: I + N
In deze situatie wordt uitgegaan van een bedrijf met een condensor op apart net, een hoge warmte-intensiteit en alle eventuele gunstige toekomstige ontwikkelingen.

5.2.2 Groot bedrijf

- *Uitgangssituatie*

De uitgangssituatie voor het grote bedrijf (situatie A) verschilt op een aantal punten van de uitgangssituatie van het middelgrote bedrijf. Het kasoppervlak is 25.000 m2 en het geïnstalleerde thermisch vermogen 1.000 kW. Dit vermogen kan gerealiseerd worden met één warmtepomp maar ook door bijvoorbeeld twee warmtepompen van 500 kW. De investering bedraagt ƒ 555.000,- en de jaarlijkse onderhoudskosten ƒ 22.000,-.

- *Overige situaties en ontwikkelingen*

Voor het grote bedrijf veranderen de uitgangspunten voor de situatie D t/m O op dezelfde wijze als bij het middelgrote bedrijf. Situatie B en C worden hieronder besproken.

Situatie B: Kleine generator
Aan de warmtepomp wordt een generator gekoppeld van 20 kW die op jaarbasis 80.000 kWh elektriciteit produceert. De investering neemt toe met naar schatting ƒ 23.000,- en de onderhoudskosten met ƒ 5.000,-. De SWV wordt bij type w/w 189%, bij type ls/w 164% en bij type lf/w 158%.

Situatie C: Grote generator
Generator van 40 kW die op jaarbasis 160.000 kWh elektriciteit produceert. De investering neemt toe met naar schatting ƒ 32.000,- en de onderhoudskosten met ƒ 7.000,-. De SWV wordt bij type w/w 173%, bij type ls/w 152% en bij type lf/w 145%.

5.3 Resultaten

5.3.1 Middelgroot bedrijf

In tabel 5.2 zijn de resultaten vermeld van de verschillende situaties op het middelgrote bedrijf. In bijlage 10 is een voorbeeld van de berekeningswijze van de equivalentieprijzen uitgewerkt. In de uitgangssituatie bedraagt de equivalentieprijs van

aardgas voor warmtepomptype w/w 67 cent. Dit betekent dat in deze situatie de warmtepomp interessant wordt indien de gasprijs structureel boven de 67 cent per m3 ligt. Voor type ls/w is de equivalentieprijs 84 cent en voor type lf/w 125 cent per m3. Hierbij hoort een elektriciteitsprijs van respectievelijk 29, 34 en 46 cent per kWh. Bij de huidige stand van de techniek en een gasprijs van ongeveer 20 cent per m3 is het stoken met een warmtepomp in deze bedrijfssituatie dus aanzienlijk duurder dan het stoken met de gasketel.

Type w/w (water/water warmtepomp) heeft de laagste equivalentieprijs vanwege de betere technische prestaties, met name de hogere dekking en SWV. Investeren in type ls/w of lf/w (lucht/water warmtepompen) komt pas aan de orde wanneer het gebruik van type w/w niet mogelijk is. Bijvoorbeeld wanneer er geen bron mag of kan worden geslagen. Hierna zal de bespreking van de resultaten op type w/w worden toegespitst.

Tabel 5.2 Equivalentieprijzen van gas en elektriciteit bij het gebruik van een warmtepomp op een bedrijf met 12.500 m2 glasopstand (cent/m3 gas; (cent/kWh))

Situatie	Type w/w	Type ls/w	Type lf/w
Bedrijfssituaties:			
A Uitgangssituatie	67 (29)	84 (34)	125 (46)
B Kleine generator	71 (30)	89 (35)	131 (48)
C Grote generator	70 (30)	86 (35)	126 (47)
D Condensor op apart net	62 (27)	77 (32)	112 (42)
E Condensor op de retour	56 (25)	68 (29)	98 (38)
F Geen condensor	51 (24)	61 (27)	86 (35)
G Hogere warmte-intensiteit	46 (23)	57 (26)	84 (34)
H Lagere warmte-intensiteit	115 (43)	147 (53)	223 (76)
I Situatie D + G	43 (22)	52 (24)	75 (31)
Eventuele ontwikkelingen:			
J Lagere investering	57 (26)	71 (30)	106 (41)
K Lagere onderhoudskosten	64 (28)	80 (33)	120 (45)
L Hogere dekking	53 (25)	67 (29)	100 (39)
M Hogere SWV	64 (28)	78 (32)	113 (43)
N Situatie J + K + L + M	41 (21)	50 (24)	73 (31)
O Situatie I + N	27 (17)	32 (18)	46 (22)

Ongeveer een derde van de warmtepompen in de tuinbouw heeft een generator (Benninga, 1987). Het gebruik van een kleine generator resulteert in een equivalentieprijs van 71 cent, een verhoging van 4 cent ten opzichte van de uitgangssituatie. Bij een

grote generator is de equivalentieprijs 3 cent hoger. Het gebruik van een generator levert bij de warmtepomp dus geen bedrijfseconomische voordelen op. Een uitzondering kan zich voordoen wanneer met eigen elektriciteitsopwekking een kostbare kabelverzwaring van het openbare net voorkomen wordt. In deze situatie moet echter ook de aanschaf van een TE-installatie worden overwogen.

Wanneer een bedrijf beschikt over een condensor op apart net, een condensor op de retour of geen condensor daalt de equivalentieprijs met respectievelijk 5, 11 en 16 cent. Een warmtepomp bespaart op deze bedrijven meer gas. Voor een modern bedrijf behoort een combicondensor of eventueel een condensor op een apart net onderdeel van de bedrijfsuitrusting te zijn. Op bedrijven waar dit condensortype ontbreekt zal voordat brandstof bespaard gaat worden met een (dure) warmtepomp eerst overwogen moeten worden in een (goedkopere) combicondensor te investeren.

Een hogere warmte-intensiteit resulteert in een lagere equivalentieprijs, bij 70 m3 a.e. per m2 is de equivalentieprijs 46 cent. Hierbij dient opgemerkt te worden dat een dergelijke warmte-intensiteit op een beperkt aantal bedrijven voorkomt. Bij een warmte-intensiteit van 30 m3 a.e. per m2 is de equivalentieprijs 115 cent. In een bedrijfssituatie met een hogere warmte-intensiteit en een condensor op een apart net (situatie I) bedraagt de equivalentieprijs van 43 cent, dit is ongeveer het niveau van de gasprijs in de jaren 1984 en 1985.

Bij eventuele toekomstige ontwikkelingen kunnen de investeringen en onderhoudskosten dalen. Bij een 25% lagere investering daalt de equivalentieprijs ten opzichte van de uitgangssituatie met 10 cent tot 57 cent. Eenzelfde daling treedt op bij een economische levensduur van 13,5 jaar of een subsidie van 25% van de investering. Een daling van de onderhoudskosten met 25% resulteert in een equivalentieprijs van 64 cent, dit is 3 cent lager dan in de uitgangssituatie. Bij een 25% hogere dekking daalt de equivalentieprijs met 14 cent tot 53 cent. Wanneer wordt uitgegaan van een hogere SWV dan komt de equivalentieprijs op 64 cent. Bij een combinatie van alle eventuele toekomstige ontwikkelingen (situatie N) wordt de warmtepomp bij een gasprijs vanaf 41 cent per m3 interessant.

Wordt tenslotte uitgegaan van een condensor op apart net en een hoge warmte-intensiteit en alle eventuele gunstige toekomstige ontwikkelingen (situatie O) dan is de equivalentieprijs 27 cent.

Een warmtepomp zal in de tuinbouw worden gebruikt omdat het in vergelijking met een gasketel gas bespaart. Daarom wordt hier kort ingegaan op de gasbesparing die de warmtepomp kan realiseren. In de uitgangssituatie is de gasbesparing bij type w/w 18%, bij type ls/w 14% en bij type lf/w 11%. Wanneer de dekking 25% hoger zou zijn is dat respectievelijk 23%, 17% en 14%.

5.3.2 Groot bedrijf

In tabel 5.3 staan de equivalentieprijzen van de verschillende situaties op het grote bedrijf. In de uitgangssituatie is de equivalentieprijs voor type w/w 61 cent, voor type ls/w 76 cent en voor type lf/w 113 cent per m3 gas. In vergelijking met het middelgrote bedrijf is dit respectievelijk 6, 8 en 12 cent lager. Op het grote bedrijf geeft een warmtepomp dus een gunstiger resultaat, vooral door de lagere investering per vermogenseenheid. De verschillen tussen de afzonderlijke situaties en tussen de drie typen geven op het grote bedrijf eenzelfde beeld te zien als op het middelgrote bedrijf.

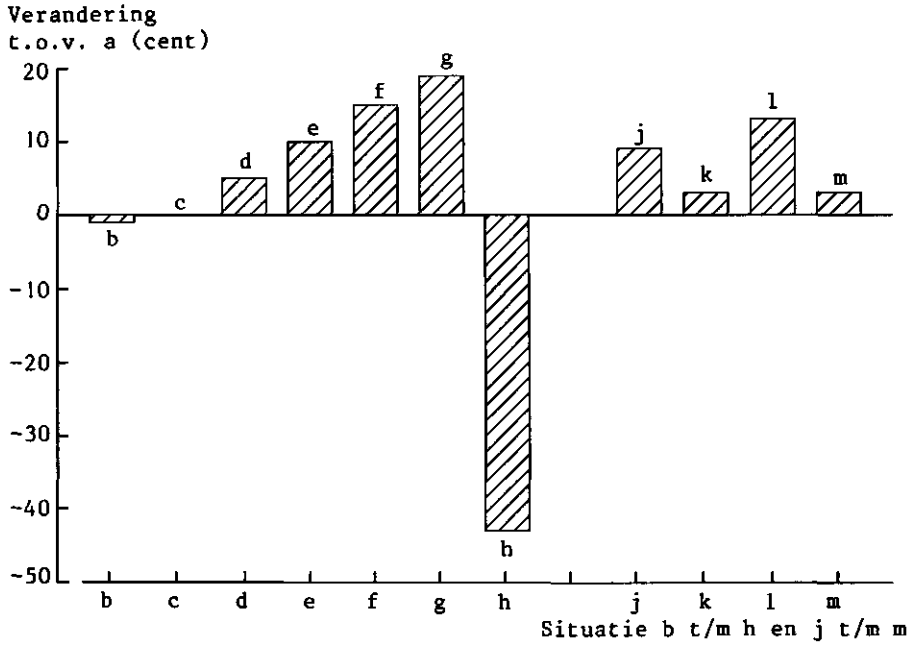
Bij gebruik van een grote generator is bij type w/w de equivalentieprijs even hoog als in de uitgangssituatie. Hier heeft het gebruik van een generator dus ook geen positieve invloed op de equivalentieprijs. Bij type ls/w en lf/w heeft gebruik van een grote generator wel een positief effect op de equivalentieprijs. Dit wordt veroorzaakt doordat de equivalentieprijs van aardgas en daarmee ook van elektriciteit hoger is. De elektriciteit wordt tegen een hogere prijs gewaardeerd (respectievelijk 31 en 42 cent tegen 27 cent per kWh) waardoor de opbrengst aan elektriciteit hoger is. Deze typen bieden echter minder perspectief.

Tabel 5.3 Equivalentieprijzen van gas en elektriciteit bij het gebruik van een warmtepomp op een bedrijf met 25.000 m2 glasopstand (cent/m3 gas; (cent/kWh))

Situatie	Type w/w	Type ls/w	Type lf/w
Bedrijfssituaties:			
A Uitgangssituatie	61 (27)	76 (31)	113 (43)
B Kleine generator	62 (27)	78 (32)	115 (43)
C Grote generator	61 (27)	75 (31)	111 (42)
D Condensor op apart net	56 (25)	69 (29)	102 (39)
E Condensor op de retour	51 (24)	62 (27)	89 (35)
F Geen condensor	46 (22)	55 (25)	78 (32)
G Hogere warmte-intensiteit	42 (21)	52 (24)	76 (32)
H Lagere warmte-intensiteit	104 (40)	133 (49)	202 (69)
I Situatie D + G	39 (20)	47 (23)	68 (29)
Eventuele ontwikkelingen:			
J Lagere investering	52 (24)	65 (28)	97 (38)
K Lagere onderhoudskosten	58 (26)	73 (30)	109 (41)
L Hogere dekking	48 (23)	61 (27)	91 (36)
M Hogere SWV	58 (26)	70 (30)	103 (40)
N Situatie I + J + K + L	37 (20)	45 (22)	67 (29)
O Situatie I + N	24 (16)	29 (17)	42 (21)

De warmte-intensiteit heeft ook hier een grote invloed. Bij de bedrijfssituatie met een hogere warmte-intensiteit en een condensor op apart net (situatie I) daalt de equivalentieprijs van aardgas tot 39 cent en ligt daarmee onder het prijsniveau van de jaren 1984 en 1985.

Bij een 25% lagere investering wordt de equivalentieprijs in de uitgangssituatie met een water/water warmtepomp 52 cent per m3. Wanneer de onderhoudskosten 25% dalen dan wordt de equivalentieprijs 58 cent. Bij een 25% hogere dekking of een 10 procentpunten hogere seizoenswarmteverhouding wordt dit respectievelijk 48 en 58 cent. Bij een combinatie van alle eventuele toekomstige ontwikkelingen (situatie N) is de equivalentieprijs 37 cent.



Figuur 5.1 Veranderingen equivalentieprijs in situatie B t/m H en J t/m M ten opzichte van de uitgangssituatie op het grote bedrijf voor warmtepomptype w/w

Bij de combinatie van de bedrijfssituatie met een condensor op apart net, een hoge warmte-intensiteit en alle eventuele toekomstige ontwikkelingen (situatie O), bedraagt de equivalentieprijs 24 cent en komt hiermee in de buurt van de huidige gasprijs. Deze ontwikkelingen moeten echter nog wel plaatsvinden.

In figuur 5.1 zijn per situatie de verschillen in equivalentieprijs aangegeven ten opzichte van de uitgangssituatie (situatie A) voor het grote bedrijf en warmtepomptype w/w. Bijvoorbeeld situatie G (hogere warmte-intensiteit) heeft een positieve invloed op de equivalentieprijs van 19 cent ten opzichte van de uitgangssituatie en situatie H (lagere warmte-intensiteit) heeft een negatieve invloed van 43 cent. Uit de figuur blijkt dat van de afzonderlijke bedrijfssituaties (situatie B t/m H) de warmte-intensiteit (situatie G en H) de grootste invloed heeft en van de eventuele toekomstige ontwikkelingen (situatie J t/m M) de dekking (situatie L).

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1 Technische evaluatie

Een warmtepomp op een glastuinbouwbedrijf betekent voor de tuinder een andere manier van stoken in de kas omdat hij met veel laagwaardige warmte te maken krijgt. Met de huidige kennis is het mogelijk een goed functionerende warmtepomp op een tuinbouwbedrijf te installeren. Met name de dimensionering en de regeling zijn hierbij van groot belang. Over de dimensionering is nu meer bekend maar met name de regeltechnische inpassing is nog niet goed uitgekristalliseerd.

Een warmtepomp komt tot de beste technische prestaties als het temperatuurverschil tussen de warmtebron en het retourwater van de kasverwarming klein is. Aan de lage temperatuur van de warmtebron kan weinig worden gedaan, dus moet de retourtemperatuur van het verwarmingswater in het verwarmingsnet zo laag mogelijk zijn. Om deze lage temperatuur te realiseren moet een apart laagwaardig net van voldoende omvang worden aangelegd. Om praktische redenen is het in een kas niet mogelijk een te groot laagwaardig net te hebben. Het maximaal te installeren vermogen wordt daarom bepaald door de maximale omvang van het laagwaardige verwarmingsnet. Bij acht p.e. slangen per 3,20 m kap en het gebruik van laagwaardige warmte van de condensor bedraagt het thermisch vermogen van de warmtepomp maximaal 40 W per m2.

Bij de technische prestaties spelen de seizoenswarmteverhouding, de dekking en het extra elektriciteitsverbruik een belangrijke rol. Op de bedrijven met een warmtepomp lopen de gerealiseerde prestaties zeer uiteen. Dit wordt veroorzaakt door de technische uitvoering (vermogen, type warmtepomp en generator) en de bedrijfssituatie (uitvoering laagwaardige net, warmte-intensiteit, wijze van CO_2-doseren en type rookgascondensor). De gerealiseerde dekking is lager dan hetgeen volgens berekeningen met de jaarbelastingduurcurve mogelijk moet zijn. Nader onderzoek op dit gebied is gewenst.

Van de drie onderzochte warmtepomptypen zijn de technische prestaties het gunstigst bij de water/water warmtepomp, gevolgd door de lucht/water warmtepomp met stille verdamper en de lucht/-water warmtepomp met geforceerde verdamper.

Bij de huidige stand van de techniek, een vermogen van 40 W per m2, met CO_2-produktie door de gasketel en zonder generator worden in de praktijk de volgende technische prestaties verwacht: bij de water/water warmtepomp een seizoenswarmteverhouding van 210% (o.w.), een dekking van 38% en een extra elektriciteitsverbruik van 2 kWh per GJ geproduceerde warmte. Bij een lucht/water warmtepomp met stille verdamper respectievelijk 180%, 35% en geen extra elektriciteitsverbruik en bij de lucht/water warmtepomp met geforceerde verdamper respectievelijk 175%, 30% en 5 kWh per GJ.

6.2 Bedrijfseconomische evaluatie

Bij de huidige stand van de techniek en zonder subsidieregelingen is in alle onderzochte bedrijfssituaties het stoken met een warmtepomp, bij de huidige gasprijs van ongeveer 20 cent per m3, duurder dan het stoken met de gasketel. In de uitgangssituatie (vermogen warmtepomp 40 W per m2, warmte-intensiteit 50 m3 a.e. per m2, een combicondensor en zonder generator) bedraagt de equivalentieprijs op het middelgrote bedrijf (12.500 m2) voor het water/water type 67 cent per m3 gas. Dit betekent dat in deze situatie de warmtepomp bij een gasprijs die structureel hoger is dan 67 cent interessant wordt ten opzichte van volledige gasstook. Voor het lucht/water type met stille verdamper is de equivalentieprijs 84 en voor het lucht/water type met geforceerde verdamper 125 cent per m3. Op het grote bedrijf (25.000 m2) ligt de equivalentieprijs respectievelijk 6, 8 en 12 cent lager. Op een groter bedrijf geeft een warmtepomp dus een gunstiger resultaat. Het water/water type heeft in alle situaties de laagste equivalentieprijs en biedt daardoor het meeste perspectief. De gasbesparing bedraagt in deze situatie bij de water/water warmtepomp 18%, bij de lucht/water warmtepomp met stille verdamper 14% en bij de lucht/water warmtepomp met geforceerde verdamper 11%.

Het gebruik van een generator voor elektriciteitsproduktie brengt geen bedrijfseconomische voordelen met zich mee. Dit wordt veroorzaakt door de investering in de generator en een grotere motor, de hogere onderhoudskosten en de lagere seizoenswarmteverhouding.

Een hogere warmte-intensiteit of het gebruik van geen of een ander type condensor bij de gasketel resulteert in een lagere equivalentieprijs. Van de onderzochte bedrijfsomstandigheden heeft de warmte-intensiteit de grootste invloed. Voor het water/water type is de equivalentieprijs op het grote bedrijf bij een warmte-intensiteit van 70 m3 a.e. per m2 42 cent en bij een condensor op apart net 56 cent per m3. De bedrijfssituatie met een condensor op de retour of zonder condensor geeft een nog lagere equivalentieprijs. In deze situatie moet echter afgevraagd worden of niet eerst geïnvesteerd moet worden in een combicondensor of een condensor op apart net. Op het grote bedrijf met een hoge warmte-intensiteit en een condensor op apart net daalt de equivalentieprijs tot 39 cent per m3 en ligt daarmee onder het gasprijsniveau van de jaren 1984 en 1985.

Bij een 25% lagere investering wordt de equivalentieprijs in de uitgangssituatie bij het grote bedrijf met een water/water warmtepomp 52 cent per m3. Bij een 25% hogere dekking of een 10 procentpunten hogere seizoenswarmteverhouding wordt dit respectievelijk 48 en 58 cent. Hieruit blijkt dat een lagere investering of een subsidie alsmede gunstige technische ontwikkelingen het perspectief van de warmtepomp aanzienlijk kunnen verbeteren. Deze ontwikkelingen kunnen door verder technisch onderzoek, met name op regeltechnisch gebied, worden gestimuleerd.

Literatuur

Benninga, J.
Toepassing van de warmtepomp in de glastuinbouw
Den Haag, LEI, 1987, Mededeling 366

Dalhuijsen, A.J. en H.P. Oversloot
Tuinbouw-warmtepompproject Delfland fase 1
Delft, TPD, 1988, TPD eindrapport

Horst, J.F. van der en M.G. Telle
Onderzoek van een warmtepomp-generatorcombinatie bij een tuinbouwbedrijf te Aalsmeer
Den Haag, TNO, 1987

Jong, R. de
Diverse rapportages van jaarrondmetingen aan warmtepompinstallaties
Bodegraven, Raadgevend buro KMV

Milieuprogramma Voortgangsrapportage 1990 - 1993
Den Haag, VROM, 1989, Publikatie

Nawrocki, K.R.
Meting overdrachtscoëfficient voor convectie van verwarmingspijpen in kassen
Wageningen, IMAG, 1985, Rapport 55

Sterke, H.J. de
"Oordelen over warmtepompen"
In: Tuinderij, 26(1984)1, pp 94-96

Telle, M.G., P. Kaspers, en V.J.M. Visser
Onderzoek lucht/water warmtepomp in de glastuinbouw
Wageningen, IMAG, 1987, Rapport 82

Telle, M.G.
Onderzoek lucht/water warmtepomp in de glastuinbouw
Wageningen, IMAG, 1988, Intern rapport

Velden, N.J.A. van der
Laagwaardige warmte in de glastuinbouw;
Een bedrijfseconomische evaluatie
Den Haag, LEI, 1989, Onderzoeksverslag 57

Vernooy, C.J.M.
Toepassing van total energy in de glastuinbouw
Den Haag, LEI, 1988, Publikatie 4.121

BIJLAGEN

Bijlage 1 Overzicht meetresultaten warmtepomp (w.p.) op jaarbasis van bedrijf 1

Gegeven	Eenheid	1982	1983	1984
Oppervlak aangesloten op w.p.	m2 glas	6.270	idem	idem
Teelt		rozen	idem	idem
Type pomp - brandstof		aardgas	idem	idem
- warmtebron		grondwater	idem	idem
- verdamper		badverdamper	idem	idem
Laagwaardig net		2 p.e. 25 mm + 1 51 mm staal/3,20 m		
Thermisch vermogen w.p.	kW (W/m2)	470 (75)	idem	idem
Draaiuren w.p.	uur	4.113	4.375	4.173
Brandstofverbruik w.p.	nm3 aardgas	130.570	134.422	126.869
Warmteproduktie w.p.	GJ	6.906	7.462	7.027
Seizoenswarmteverhouding w.p.	% o.w.	166	174	175
Elektriciteitsverbruik w.p.	kWh (kWh/GJ)	44.000 (6,4)	42.000 (5,6)	46.425 (6,6)
Gasverbruik ketel	nm3	72.529	61.470	62.793
Type rookgascondensor		geen	idem	idem
Gebruiksrendement ketel	% o.w.	81	idem	idem
Warmteproduktie ketel	GJ	1.859	1.571	1.605
Totale warmteproduktie	GJ	8.765	9.033	8.632
	m3 a.e./m2	44	46	43
Warmtedekking	%	79	82	81
CO_2-dosering	ketel/zuiver	geen	geen	geen
Theoretisch gasverbruik	nm3	307.706	317.114	303.037
Gasbesparing w.p.	nm3 (%)	104.607 (34)	121.222 (38)	113.375 (37)

* te klein w.p. net; * hoog temperatuurniveau: 70/50°C; * hoog elektriciteitsverbruik w.p. door: - gedeeltelijk dichtstaan van klep in de bronwatertoevoer naar de w.p.; - continu draaiende ventilator in w.p. unit; - verbruik van waterpompen is in extra elektriciteitsverbruik opgenomen.

Bijlage 2 Overzicht meetresultaten warmtepomp (w.p.) op jaarbasis van bedrijf 2

Gegeven	Eenheid	Sept '85 - Sept '86	Mrt '87 - Mrt '88
Oppervlak aangesloten op w.p.	m2 glas	25.600	idem
Teelt		komkommers en tomaten	idem
Type pomp - brandstof		aardgas	idem
- warmtebron		grondwater	idem
- verdamper		badverdamper	idem
Laagwaardig net		8 p.e. 25 mm/3.20 m	idem
Thermisch vermogen w.p.	kW (W/m2)	1.042 (41)	idem
Elektrisch vermogen generator	kW	10 - 40	idem
Draaiuren w.p.	uur	6.666	4.849
Brandstofverbruik w.p.	nm3 aardgas	404.117	282.760
Warmteproduktie w.p.	GJ	22.426	16.017
Seizoenswarmteverhouding w.p.	% o.w.	175	179
Elektriciteitsverbruik w.p.	kWh (kWh/GJ)	39.997 (1,8)	29.091 (1,8)
Elektriciteitsproduktie	kWh	197.062	147.583
Gasverbruik ketel	nm3	1.233.537	1.460.192
Type rookgascondensor		combi	combi
Gebruiksrendement ketel	% o.w.	103	103
Warmteproduktie ketel	GJ	40.213	47.602
Totale warmteproduktie	GJ	62.639	63.619
	m3 a.e./m2	77	79
Warmtedekking	%	36	25
CO_2-dosering	ketel/zuiver	zuiver	ketel
Theoretisch gasverbruik	nm3	1.902.996	1.932.768
Gasbesparing w.p.	nm3 (%)	265.342 (14)	189.816 (10)
Elektriciteitsbesparing	kWh	157.065	118.492

* in 1987 nieuwe bron geslagen; * hoog elektriciteitsverbruik op bedrijf door belichting tijdens plantopkweek.

Bijlage 3 Overzicht meetresultaten warmtepomp (w.p.) op jaarbasis van bedrijf 3

Gegeven	Eenheid	wk 11 '87 - wk 11 '88
Oppervlak aangesloten op w.p.	m2 glas	14.467
Teelt		rozen
Type pomp - brandstof		aardgas en diesel (dual fuel)
- warmtebron		grondwater
- verdamper		badverdamper
Laagwaardig net		4 p.e. 25 mm /3.20 m
Thermisch vermogen w.p.	kW (W/m2)	590 (41)
Elektrisch vermogen generator	kW	47
Draaiuren w.p.	uur	3.362
Brandstofverbruik w.p.	nm3 aardgas	89.882
	l dieselolie	21.433
Warmteproduktie w.p.	GJ	6.103
Seizoenswarmteverhouding w.p.	% o.w.	166
Elektriciteitsverbruik w.p.	kWh (kWh/GJ)	21.853 (3,6)
Elektriciteitsproduktie	kWh	68.803
Gasverbruik ketels	nm3	631.193 (2 ketels)
Type rookgascondensor		combi
Gebruiksrendement ketel	% o.w.	103,5
Warmteproduktie ketel	GJ	20.676
Totale warmteproduktie	GJ	26.779
	m3 a.e./m2	58
Warmtedekking	%	23
CO_2-dosering	ketel/zuiver	ketel
Theoretisch gasverbruik	nm3	813.555
Gasbesparing w.p.	nm3 (%)	92.481 (11) 1)
Elektriciteitsbesparing	kWh	46.950

1) hierbij dient opgemerkt te worden dat hiernaast ook nog dieselolie is aangewend;
* 17 weken stilgestaan.

Bijlage 4 Overzicht meetresultaten warmtepomp (w.p.) op jaarbasis van bedrijf 4

Gegeven	eenheid	wk 17 '87 - wk 17 '88
Oppervlak aangesloten op w.p.	m2 glas	43.500 1)
Teelt		rozen
Type pomp - brandstof		aardgas
- warmtebron		bassin- of grondwater 2)
- verdamper		badverdamper
Laagwaardig net		4,5 p.e. 25 mm /3,20 m
Thermisch vermogen w.p.	kW (W/m2)	570 (13)
Elektrisch vermogen generator	kW	20
Draaiuren w.p.	uur	2.248
Brandstofverbruik w.p.	nm3 aardgas	84.238
Warmteproduktie w.p.	GJ	4.626
Seizoenswarmteverhouding w.p.	% o.w.	174
Elektriciteitsverbruik w.p.	kWh (kWh/GJ)	20.676 (4,5)
Elektriciteitsproduktie	kWh	20.676
Gasverbruik ketel	nm3	2.932.587
Type rookgascondensor		combi
Gebruiksrendement ketel	% o.w.	104
Warmteproduktie ketel	GJ	96.529
Totale warmteproduktie	GJ	101.155
	m3 a.e./m2	73
Warmtedekking	%	5
CO_2-dosering	ketel/zuiver	ketel
Theoretisch gasverbruik	nm3	3.073.125
Gasbesparing w.p.	nm3 (%)	56.300 (2)

1) gedurende de meetperiode is de w.p. aangesloten op het hele bedrijf (daarvoor op 25.000 m2); 2) als bassinwatertemperatuur daalt beneden 11°C wordt er op grondwater overgeschakeld; * w.p. heeft totaal 28 weken stilgelegen o.a. door een lekke koelmiddelpijp in de verdamper; * in week 39 is naast de w.p. een TE-installatie geïnstalleerd t.b.v. assimilatiebelichting, hierdoor werd de w.p. minder gebruikt.

Bijlage 5 Overzicht meetresultaten warmtepomp (w.p.) op jaarbasis van bedrijf 5

Gegeven	Eenheid	Sept. '86 - Sept. '87
Oppervlak aangesloten op w.p.	m2 glas	13.500
Teelt		tomaten
Type pomp - brandstof		aardgas
- warmtebron		buitenlucht
- verdamper		stille verdamper
Laagwaardig net		1 51 mm staal + 4 p.e. 25 mm /3.20 m
Thermisch vermogen w.p.	kW (W/m2)	250 (19)
Draaiuren w.p.	uur	5.883
Brandstofverbruik w.p.	nm3 aardgas	70.860
Warmteproduktie w.p.	GJ	4.307
Seizoenswarmteverhouding w.p.	% o.w.	192
Elektriciteitsverbruik w.p.	kWh (kWh/GJ)	gegevens niet beschikbaar
Gasverbruik ketel	nm3	752.415
Type rookgascondensor		combi
Gebruiksrendement ketel	% o.w.	103,5
Warmteproduktie ketel	GJ	24.647
Totale warmteproduktie	GJ	28.954
	m3 a.e./m2	68
Warmtedekking	%	15
CO_2-dosering	ketel/zuiver	ketel
Theoretisch gasverbruik	nm3	879.633
Gasbesparing w.p.	nm3 (%)	56.358 (6)

* 1 maand stilgelegen in verband met defecte rookgaskoeler.

Bijlage 6 Overzicht meetresultaten warmtepomp (w.p.) op jaarbasis van bedrijf 6

Gegeven	Eenheid	1985
Oppervlak aangesloten op w.p.	m2 glas	8.000
Teelt		potplanten
Type pomp - brandstof		aardgas
- warmtebron		buitenlucht + 2 ontvochtigers
- verdamper		stille verdamper
Laagwaardig net		2 51 mm staal/13,5 m
Thermisch vermogen w.p.	kW (W/m2)	300 (38)
Elektrisch vermogen generator	kW	48
Draaiuren w.p.	uur	4.949
Brandstofverbruik w.p.	nm3 aardgas	79.124
Warmteproduktie w.p.	GJ	3.506
Seizoenswarmteverhouding w.p.	% o.w.	140
Elektriciteitsverbruik w.p.	kWh (kWh/GJ)	6.200 (1,8)
Elektriciteitsproduktie	kWh	53.500
Gasverbruik ketel	nm3	258.459
Type rookgascondensor		combi
Gebruiksrendement ketel	% o.w.	103
Warmteproduktie ketel	GJ	8.425
Totale warmteproduktie	GJ	11.932
	m3 a.e./m2	47
Warmtedekking	%	29
CO_2-dosering	ketel/zuiver	zuiver
Theoretisch gasverbruik	nm3	362.498
Gasbesparing w.p.	nm3 (%)	24.915 (7)
Elektriciteitsbesparing	kWh	47.300

* bij regeling heeft elektriciteitsproduktie prioriteit boven warmtelevering; * stille verdamper heeft een te klein oppervlak.

Bijlage 7 Overzicht meetresultaten warmtepomp (w.p.) op jaarbasis van bedrijf 7 1)

Gegeven	Eenheid	wk 10 '87 - wk 10 '88
Oppervlak aangesloten op w.p./T.E.	m2 glas	4.645
Teelt		rozen
Type pomp - brandstof		electra (van T.E.)
- warmtebron		buitenlucht + ontvochtigers
- verdamper		stille verdamper
Laagwaardig net		2 51 mm staal/3,20 m
Thermisch vermogen w.p. + T.E.	kW (W/m2)	195 (42)
Elektrisch vermogen T.E.	kW	40
Draaiuren w.p./T.E.	uur	5.119
Brandstofverbruik T.E.	nm3 aardgas	67.815
Warmteproduktie w.p. + T.E.	GJ	3.081
Seizoenswarmteverhouding w.p. + T.E.	% o.w.	143
Elektriciteitsverbruik w.p.	kWh (kWh/GJ)	127.312 (42)
Elektriciteitsproduktie T.E.	kWh	162.475
Gasverbruik ketel	nm3	103.241
Type rookgascondensor		geen
Gebruiksrendement ketel	% o.w.	87
Warmteproduktie ketel	GJ	2.843
Totale warmteproduktie	GJ	5.924
	m3 a.e./m2	40
Warmtedekking w.p. + T.E	%	52
CO_2-dosering	ketel/zuiver	aparte ketel
Theoretisch gasverbruik	nm3	207.969
Gasbesparing w.p. + T.E.	nm3 (%)	36.913 (18)
Elektriciteitsbesparing	kWh	35.163

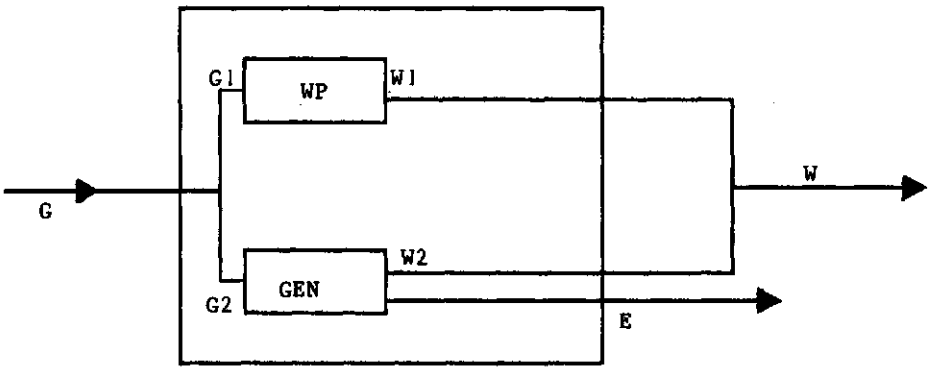
1) dit betreft een elektrisch aangedreven warmtepomp; * totaal ca. 410 draaiuren verloren a.g.v. storing; * TE-warmte in ketelnet en eventueel bijmengen uit ketel in w.p.-net; * te klein w.p.-net.

Bijlage 8 Overzicht meetresultaten warmtepomp (w.p.) op jaarbasis van bedrijf 8

Gegeven	Eenheid	1985	Mrt '86 - Mrt '87
Oppervlak aangesloten op w.p.	m2 glas	10.885	21.770
Teelt		tomaten	tomaten
Type pomp - brandstof		aardgas	aardgas
- warmtebron		buitenlucht	buitenlucht
- verdamper		geforceerde verdamper	geforceerde verdamper
Laagwaardig net		2 51 mm staal/3,20 m	3 51 mm/3,20 m
Thermisch vermogen w.p.	kW (W/m2)	400 (37)	400 (18)
Elektrisch vermogen generator	kW	7	7
Draaiuren w.p.	uur	3.432	2.803
Brandstofverbruik w.p.	nm3 aardgas	76.647	60.751
Warmteproduktie w.p.	GJ	3.890	3.018
Seizoenswarmteverhouding w.p.	% o.w.	158	154
Elektriciteitsverbruik w.p.	kWh (kWh/GJ)	23.756 (6)	19.538 (6,5)
Elektriciteitsproduktie	kWh	23.756	19.538
Gasverbruik ketel	nm3	468.383	706.595
Type rookgascondensor		combi	combi
Gebruiksrendement ketel	% o.w.	103,5	104
Warmteproduktie ketel	GJ	15.343	23.258
Totale warmteproduktie	GJ	9.233	26.276
	m3 a.e./m2	56	38
Warmtedekking	%	20	12
CO_2-dosering	ketel/zuiver	ketel	ketel
Theoretisch gasverbruik	nm3	84.306	798.274
Gasbesparing w.p.	nm3 (%)	9.276 (7)	30.928 (4)

* ondanks groter net en aansluiting w.p. op hele bedrijf het tweede jaar minder draaiuren door storingen (ca. 900 uur verlies) en wijze van regelen leidde tot een niet optimaal gebruik van de w.p. (omdat de capaciteit van het hoogwaardige net te klein was, werd er in het laagwaardige net vanuit de ketel bijgemengd).

Bijlage 9 Berekening warmteverhouding zonder generator/TE



Uit de meetgegevens is de seizoenswarmteverhouding berekend voor de hele unit, dus warmtepomp plus generator of TE.

Om nu te achterhalen wat de warmteverhouding van enkel de warmtepomp is, wordt een deel van het gasverbruik en van de hoogwaardige warmte van de motor toegerekend aan de generator (respectievelijk G2 en W2).

Uitgangspunten:
- mechanisch rendement (MR): 28%
- thermisch rendement (TR): 56%
- generator rendement (GR): 90%

Berekening:
Warmteverhouding inclusief elektriciteitsproduktie: W/G
- W2 = 1/GR x TR/MR x E
- G2 = 1/GR x 1/MR x E
- G1 = G - G2
- W1 = W - W2

Warmteverhouding exclusief elektriciteitsproduktie: W1/G1

Getallenvoorbeeld:
Warmteverhouding inclusief elektriciteitsproduktie: 160 %
- W = 22.500 GJ
- G = 400.000 m3
- E = 170.000 kWh

- W2 = 377.778 kWh = 1.360 GJ
- G2 = 76.747 m3

- W1 = 5.872.222 kWh = 21.140 GJ
- G1 = 323.253 m3

Warmteverhouding exclusief elektriciteitsproduktie: 207%.