

**ANRE-DEMONSTRATIEPROJECT
ROOKGASWASSING UITLAATGASSEN WKK
BIJ TUINBOUWBEDRIJF SCHEERS, KONTICH**

Eindrapport

J. Van Bael, W. Luyckx, J. Stroobants en J. Cools

VITO

September 1999

SAMENVATTING

In het kader van de bevordering van nieuwe energietechnologieën (KB van 10/02/1983) heeft de Vlaamse overheid een subsidie toegekend van 35% voor de investeringskosten van rookgassencondensor en een rookgassenkatalysator voor een WKK-installatie met aardgasmotor (475 kW_{el}) aan het tuinbouwbedrijf Scheers te Kontich. Het bedrijf is gespecialiseerd in de teelt van tomaten op substraat in verwarmde serres. De totale oppervlakte van de serres bedraagt ongeveer 16.500 m². De WKK is eigendom van de energieleverancier. De elektriciteit wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet en de hoogwaardige warmte wordt doorverkocht aan Scheers. De laagwaardige warmte bekomen via de rookgassencondensor, wordt gratis geleverd aan Scheers evenals de rookgassen. Via de katalysator worden de rookgassen gereinigd zodat de CO₂ gebruikt kan worden in de serre voor bemesting van de planten.

Vito voert in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap een evaluatie van dit demonstratieproject uit. Van oktober 1997 tot en met september 1998 werden de energiestromen bij Scheers op uurlijkse basis gemeten en geregistreerd. Op basis van deze metingen worden de technische prestaties, de bereikte energiebesparing, de vermindering van de CO₂-emissie en de rentabiliteit geëvalueerd. Gedurende de meetperiode draaide de WKK 6.550 vollasturen waarbij 1.024.976 Nm³ aardgas verbruikt werd en 3.111 MWh elektriciteit geproduceerd werd. In totaal werd door de WKK 19.700 GJ nuttige warmte geproduceerd waarvan 17.921 GJ (91%) hoogwaardige warmte en 1.779 GJ (9%) laagwaardige warmte (via de rookgassencondensor). Het gemiddeld elektrisch rendement bedraagt 33% en het gemiddeld thermisch rendement is 59%. Het thermische rendement ligt hoog omwille van het feit dat naast de warmte van het motorblok, de rookgassenkoeler, de olienkoeler en de interkoeler ook nog een gedeelte van de latente warmte in de rookgassen via de rookgassencondensor benut wordt. Het totale rendement (elektrisch + thermisch) van de WKK over de meetperiode bedraagt 92%. De verhouding warmte / kracht bedraagt ongeveer 1,8. Bij vollast bedraagt het elektrisch rendement 35%. De totale warmtevraag bij Scheers bedroeg 30.510 GJ, waarvan het grootste gedeelte gedekt werd door de WKK namelijk 65% (59% hoogwaardige warmte en 6% laagwaardige warmte). De ketel leverde 10.810 GJ aan warmte, dit is 35% van de totale warmtevraag. Uit de emissiemetingen van KVBG (NO, NO₂, C₂H₄ en CO) blijkt dat de limietwaarden, zoals opgegeven in de gewasverzekering, niet overschreden of benaderd worden. Het primair energieverbruik van de WKK-installatie bedroeg 33.615 GJ/jaar en voor eenzelfde productie van warmte en elektriciteit zou hiervoor in de referentiesituatie 48.631 GJ/jaar nodig geweest zijn. Dit betekent dus dat met de WKK over de meetperiode 15.016 GJ/jaar of 31% bespaard werd ten opzichte van de referentiesituatie. De reductie van de CO₂-emissie over de meetperiode bedraagt 1.367 ton/jaar of 43 % ten opzichte van de referentiesituatie. Gezien een groot deel van de CO₂ in de serre gebruikt wordt voor bemesting van de planten waarbij een omzetting naar koolstof plaatsvindt, is de werkelijke reductie van de CO₂-emissie bij deze installatie veel hoger dan 1.367 ton/jaar.

Door Scheers werd er geïnvesteerd in de rookgaskatalysator en de condensor. De gerealiseerde besparing bestaat uit hoogwaardige warmte aan een voordelig tarief en de gratis beschikbare laagwaardige warmte. De terugverdientijd bedraagt 5,4 jaar exclusief subsidie (3,5 jaar inclusief subsidie).

INHOUD

1	Inleiding.....	4
2	Technische beschrijving van de installatie.....	5
2.1	Overzicht van de WKK installatie.....	5
2.2	Werking van de katalysatoren.....	5
3	Metingen en registratie van de energiestromen.....	8
4	Technische evaluatie.....	10
4.1	Productie van elektriciteit met de WKK.....	10
4.2	Nuttige warmteproductie WKK.....	13
4.3	Warmtevraag.....	15
4.4	Rendement van de WKK-installatie.....	19
4.5	Emissiemetingen.....	20
5	Primaire energiebesparing en vermindering CO ₂ -emissie.....	22
5.1	Primaire energiebesparing.....	22
5.2	Vermindering CO ₂ -emissie.....	23
6	economische evaluatie.....	24
7	Mening van de eigenaar scheers.....	26
8	Besluit.....	27

1 INLEIDING

Het bedrijf Scheers is een tuinbouwbedrijf gelegen in Kontich. Het bedrijf is gespecialiseerd in de teelt van tomaten op substraat en dit in verwarmde serres. De totale oppervlakte van de serres bedraagt ongeveer 16.500 m².

Om de groei en de productie van de gewassen te stimuleren, wordt in een tuinbouwbedrijf CO₂ gebruikt. Normaal gezien wordt dit gas geproduceerd via verbranding van aardgas in een verwarmingsketel. Gezien met dit conventioneel systeem de warmtebuffer vrij snel de maximale capaciteit bereikt bij zonneschijn, heeft Scheers geopteerd voor een WKK installatie die CO₂ en warmte levert aan de serre. De WKK-installatie bestaat uit een aardgasmotor met een vermogen van 475 kW_{el} en is eigendom van de energieleverancier. De elektriciteit wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet en de hoogwaardige warmte wordt doorverkocht aan Scheers. De laagwaardige warmte bekomen via de rookgassencondensor, wordt gratis geleverd aan Scheers evenals de rookgassen. Via de katalysator worden de rookgassen gereinigd zodat de CO₂ gebruikt kan worden in de serre voor bemesting van de planten.

Vito voerde in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap een evaluatie van dit demonstratieproject uit. Het demonstratieproject werd goedgekeurd begin 1997 en het aanvangsverslag werd opgemaakt in februari 1997. In mei 1997 werd de installatie in bedrijf genomen. Gezien een aantal problemen met de meetapparatuur en met het bepalen van de juiste pulswaarden, kon de meetperiode pas van start gaan eind september 1997.

Gedurende een meetperiode van 1 jaar werden de energiestromen op uurbasis opgemeten en geregistreerd. Op basis van deze metingen werden de technische prestaties van de technologie, de bereikte energiebesparing, de vermindering van de CO₂-emissie en de rentabiliteit geëvalueerd.

In dit eindverslag wordt in hoofdstuk 2 een technische beschrijving gegeven van de installatie. In het derde hoofdstuk wordt de meetprocedure van de energieregistratie weergegeven en in hoofdstuk 4 worden de meetgegevens geanalyseerd.

In hoofdstuk 5 worden de primaire energiebesparing en de CO₂-emissiereductie bepaald en in hoofdstuk 6 wordt de economische evaluatie besproken. De mening van Scheers wordt weergegeven in hoofdstuk 7 en in hoofdstuk 8 wordt het besluit geformuleerd.

2 TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE

2.1 Overzicht van de WKK installatie

Een schema van de WKK installatie bij Scheers wordt weergegeven in figuur 2.1. De WKK bestaat uit een gasmotor merk Waukesha VGF L 36 GLD (12 cilinders in V, 1.500 toeren/min) gekoppeld met een generator merk Stamford HC 534 F (475 kW_{el}).

De WKK installatie werd geleverd door de firma Zantingh en behoort toe aan de energieleverancier Iveka c.v.. De elektriciteit wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet. De hoogwaardige warmte afkomstig van de motorwaterkoeler (315 kW), de oliekoeler (55 kW), de interkoeler (34 kW) en de rookgassenkoeler (247 kW) wordt aangekocht door Scheers, de laagwaardige warmte afkomstig van de rookgassencondensator (116,7 kW) is gratis voor Scheers. Deze rookgassencondensator werd aangekocht door Scheers. De hoogwaardige warmte (95°C) wordt gebruikt voor de verwarming van de serre (via de warmtebuffer van 160 m³) en de laagwaardige warmte (36°C) voor de verwarming van het water voor de gewassen.

De hoogwaardige warmte kan vooraleer geleverd te worden aan de serre, opgeslagen worden in een bestaand buffervat. Naast de WKK wordt er ook nog warmte geproduceerd door een aardgasketel (2.326 kW). De warmte van de gasketel kan rechtstreeks aan de serre geleverd worden of kan eveneens gebufferd worden in het bestaande buffervat (160 m³).

De WKK installatie wordt geregeld op de warmtevraag. Er wordt zo veel mogelijk op vollast gedraaid. Indien de temperatuur van het retourwater uitstijgt boven een bepaalde waarde, dan wordt de WKK in vermogen teruggeregeld. De installatie valt automatisch stil indien de retourtemperatuur een bepaalde maximumwaarde overschrijdt.

2.2 Werking van de katalysatoren

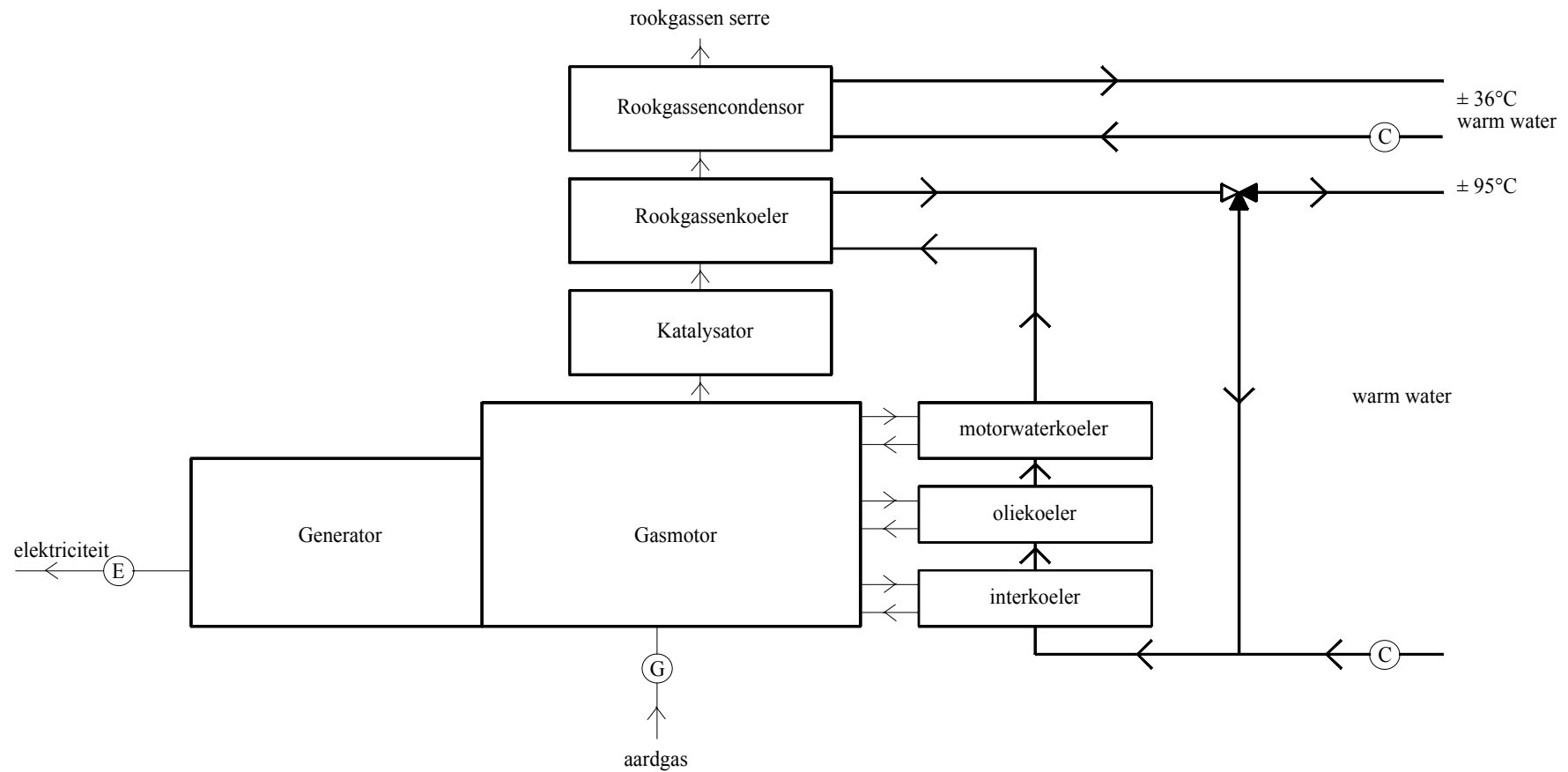
Gezien de rookgassen komende van de gasmotor niet geschikt zijn voor de gewassen, worden een SCR-katalysator (Selective Catalytic Reduction) en een oxidatiekatalysator van het merk Siemens voorzien tussen de gasmotor en de rookgassenkoeling. Deze katalysatoren zorgen voor een verlaging van de concentratie aan NO_x, H_nC_m en CO. Via de rookgassenkoeler en de rookgassencondensator worden de rookgassen gekoeld tot een temperatuur van circa 50°C. Op de uitlaat naar de buitenlucht is een aftakking geplaatst met een motorbediende klep waarna zich een ventilator bevindt welke de rookgassen naar een gezamenlijke collector brengt waar de CO₂ ventilatoren de rookgassen afzuigen en in het verdeelnet duwen. De motorbediende klep en de ventilatoren worden door de klimaatcomputer en de besturing van de katalysator bediend. De rookgassen van de aardgasketel kunnen eveneens via dit systeem in de serre gebracht worden.

De SCR-katalysator werkt in 3 stappen:

In de *eerste* stap wordt de ureum/wateroplossing in de rookgassen verdeeld met behulp van statische mixers in functie van de hoeveelheid NO na de katalysator. Een regeling zorgt voor de dosering van de ureum/wateroplossing. De hoeveelheid van deze oplossing wordt toegediend zonder overmaat bij vollastwerking. In het pyrolysekanaal wordt het ureum door middel van pyrolyse omgevormd tot ammoniak.

In de *tweede* stap worden de stikstofoxides NO en NO₂, met behulp van het reactiemiddel ammoniak, in de selectieve reductiekatalysatoren (SCR) in waterdamp, stikstof en koolstofdioxide omgezet. Bij een goede dosering en homogene vermenging van het reactiemiddel met de rookgassen is het mogelijk de NO_x hoeveelheden in het rookgas tot op lage waarden terug te brengen. In de reactiekatalysatoren wordt een deel van de koolwaterstoffen uit het rookgas omgevormd. De hieruit vrijkomende koolstof wordt gebonden tot koolstofmonoxide. Na de reductiestap resulteert dit in een verhoging van de CO hoeveelheden tot 50%.

In de *derde* stap wordt het overgrote deel van de brandbare, schadelijke gasvormige rookgasbestanddelen in de oxidatiekatalysator tot waterdamp en koolstofdioxide geoxideerd. De aanwezige koolwaterstof en het koolstofmonoxide worden geoxideerd.



E : Elektriciteitsmeter

G : Aardgasmeter

C: Calorimeter

Figuur 2.1: Principeschema demonstratieproject Scheers

3 METINGEN EN REGISTRATIE VAN DE ENERGIESTROMEN

Voor de regeling van de installatie en voor de opvolging door het energiebedrijf werden door de installateur reeds een aantal meettoestellen voorzien.

A) netto geproduceerde elektriciteit

De elektriciteit die netto geproduceerd wordt door de WKK (d.w.z. de elektriciteit die geleverd wordt aan het 15.000 V net, dit is de geproduceerde elektriciteit min het verbruik van de hulpdiensten) wordt gemeten via een elektriciteitsmeter. De pulsen van deze meter worden op uurlijkse basis geregistreerd in een datalogger van Vito. De pulsen worden eveneens geregistreerd door het energiebedrijf.

B) hoogwaardige warmte geleverd door de WKK

De hoogwaardige warmte (temperatuurniveau van 95°C) die geleverd wordt door de WKK wordt gemeten met een calorimeter in het betreffende circuit. De locatie van de meter wordt weergegeven op figuur 2.1. De pulsen van deze meter worden op uurlijkse basis geregistreerd in een datalogger van Vito. De energiemaatschappij gebruikt dit signaal eveneens voor de facturatie.

C) aardgasverbruik van de WKK

Het aardgasverbruik van de WKK wordt gemeten met een aardgasmeter. De pulsen van deze meter worden op uurlijkse basis geregistreerd in een datalogger van Vito.

D) aardgasverbruik van de ketel

Het verbruik van de aardgasketel wordt gemeten met een aardgasmeter. De pulsen hiervan worden eveneens op uurlijkse basis geregistreerd.

Naast deze standaard gemeten parameters zijn er nog bijkomende metingen nodig voor een technische evaluatie van het project.

E) laagwaardige warmte geleverd door de WKK

Gezien de rookgassencondensor mede het onderwerp vormt van dit demonstratieproject, is het van belang om de warmte te meten die via deze weg gerecupereerd wordt. Het signaal van deze calorimeter wordt eveneens gekoppeld met de datalogger voor de uurlijkse registratie.

F) warmtevraag van de serre

Zoals reeds vermeld bestaat de mogelijkheid om de warmte van de WKK en de warmte van de aardgasketel te stockeren in een buffervat. De warmte geproduceerd door de WKK en de ketel is dus niet gelijk aan de momentane warmtevraag van de serre. Om een beeld te verkrijgen van het bufferen, is het interessant om de

warmtevraag van de serre te meten. Dit gebeurt via een calorimeter die ingebouwd is in het warmtedistributienet van de serre. De pulsen van deze calorimeter worden op uurlijkse basis geregistreerd in de datalogger.

In tabel 3.1 wordt een overzicht gegeven van de meetapparatuur.

Tabel 3.1: Overzicht van de meetapparatuur

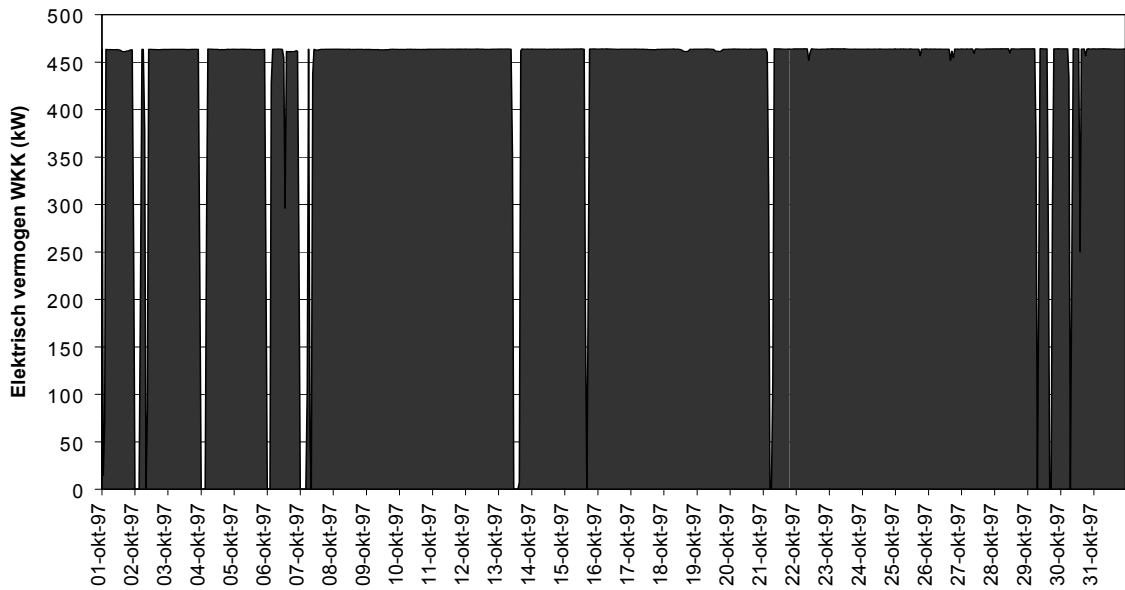
Parameter	Meetapparatuur	voorzien door
aardgasverbruik van de WKK	aardgasmeter	leverancier
geproduceerde elektriciteit WKK	elektriciteitsmeter	leverancier
hoogwaardige warmte geleverd door de WKK	calorimeter	leverancier
laagwaardig warmte geleverd door de WKK	calorimeter	Vito
aardgasverbruik van de ketel	aardgasmeter	leverancier
warmtevraag van de serre	calorimeter	Vito

4 TECHNISCHE EVALUATIE

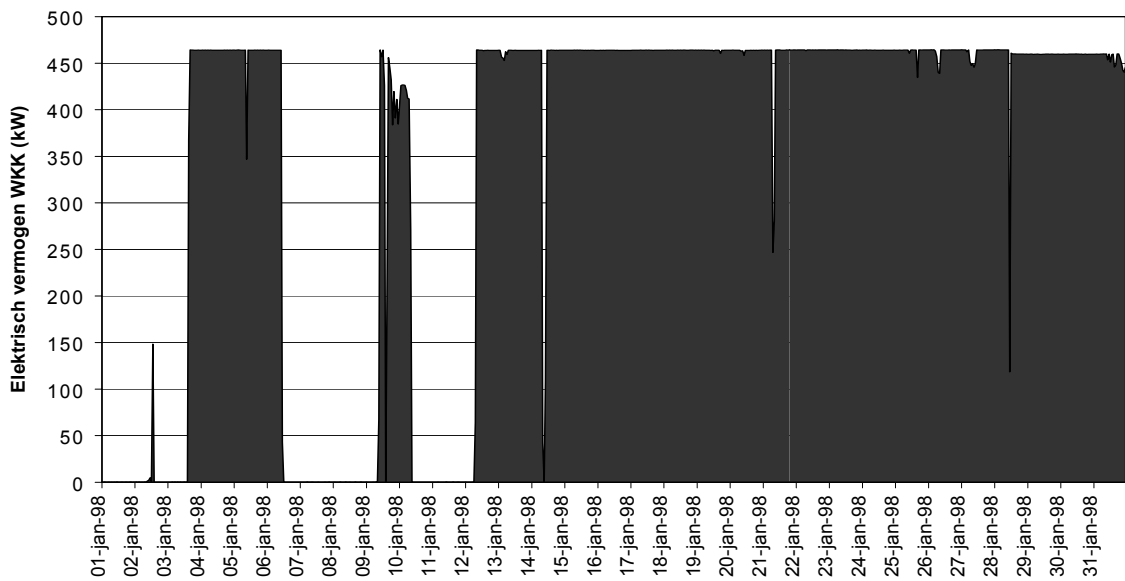
In dit eindrapport worden de resultaten van de meetperiode (oktober 1997 – september 1998) besproken.

4.1 Productie van elektriciteit met de WKK

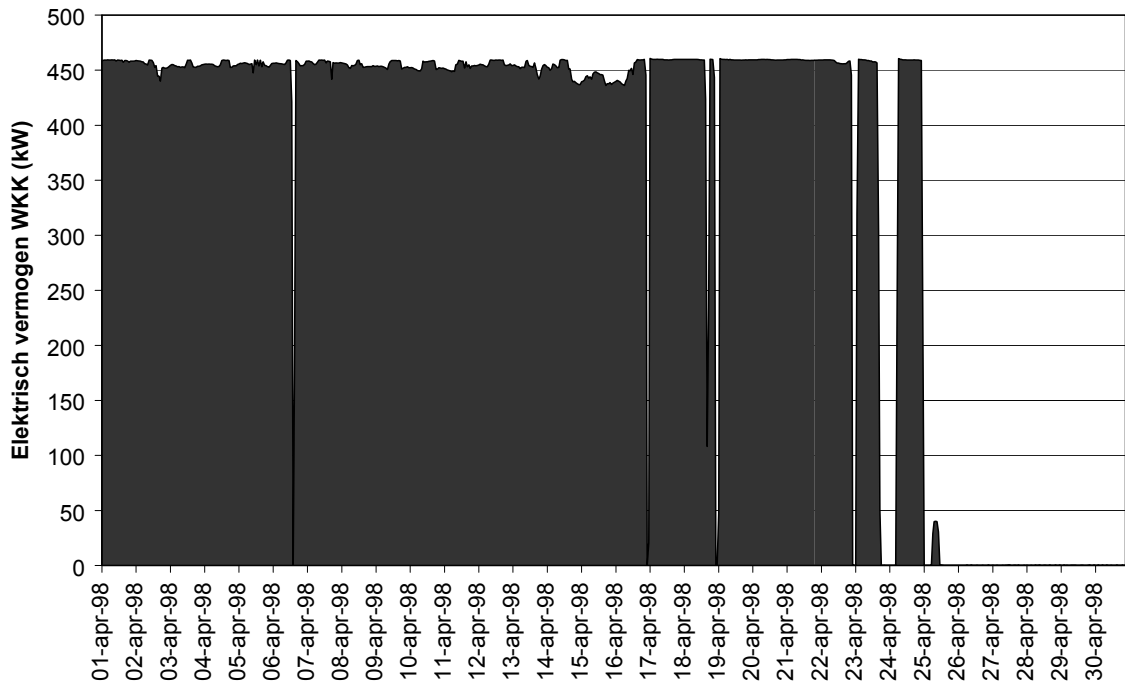
Figuren 4.1, 4.2, 4.3 en 4.4 tonen respectievelijk de elektriciteitsproductie van de WKK in de maanden oktober 1997, januari 1998, april 1998 en juli 1998.



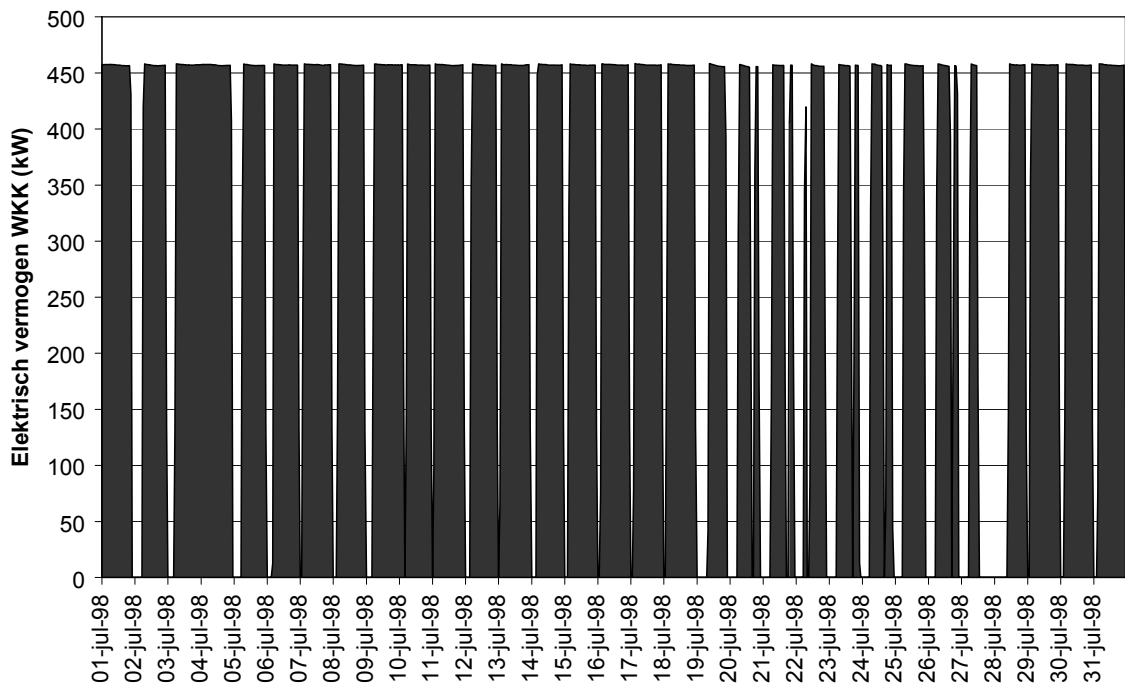
Figuur 4.1: Elektriciteitsproductie WKK (oktober 1997)



Figuur 4.2: Elektriciteitsproductie WKK (januari 1998)



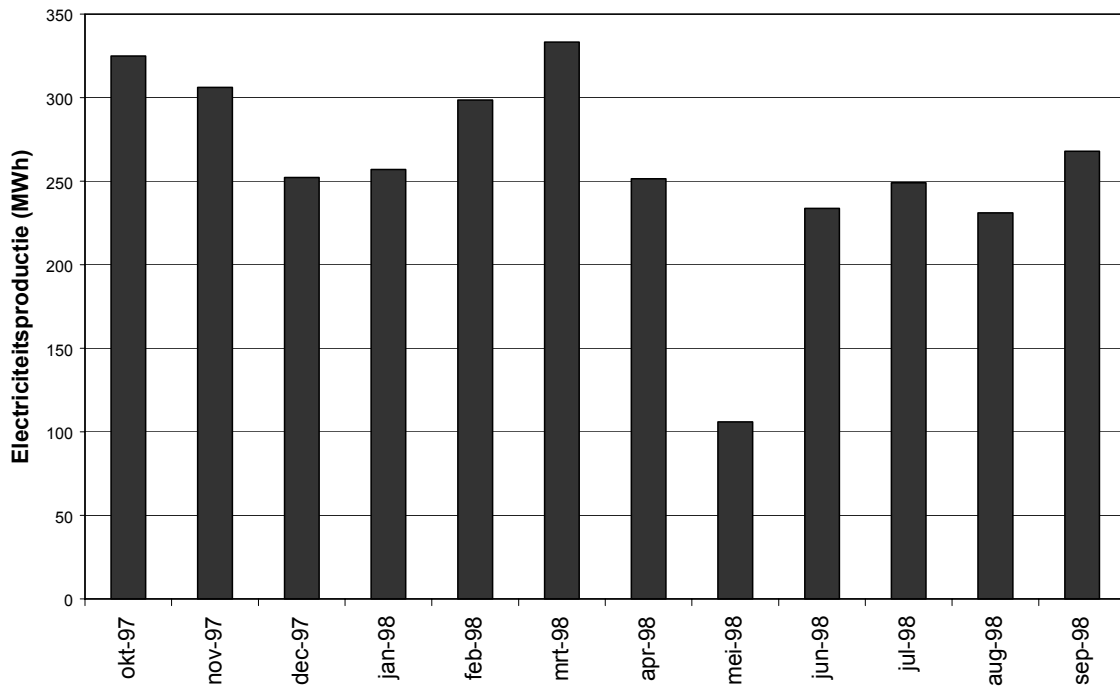
Figuur 4.3: Elektriciteitsproductie WKK (april 1998)



Figuur 4.4: Elektriciteitsproductie WKK (juli 1998)

Uit de figuren blijkt dat de WKK in de meeste maanden continu draait, zowel overdag als 's nachts. Enkel voor juli 1998 wordt de WKK gedurende 4 nachturen stilgelegd.

Figuur 4.5 geeft een overzicht van de elektriciteitsproductie op maandbasis.



Figuur 4.5: Overzicht van de elektriciteitsproductie over de meetperiode

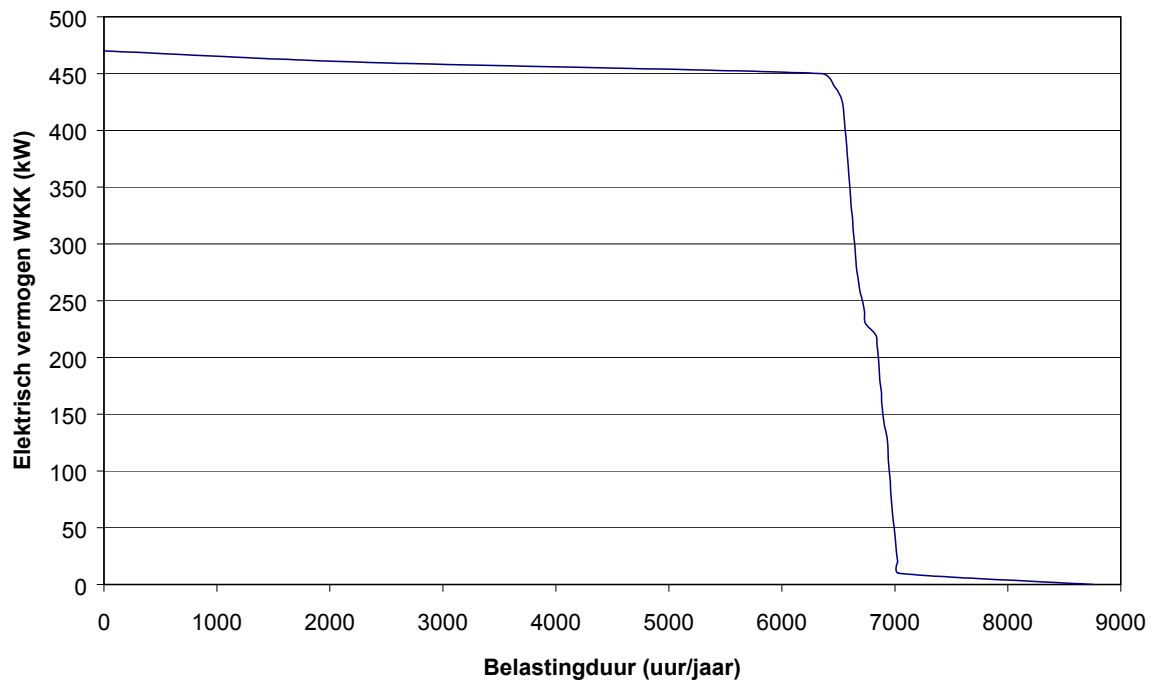
Uit de meetgegevens blijkt dat de elektriciteitsproductie voor de meeste meetmaanden gelegen is tussen 230 MWh en 330 MWh. De totale elektriciteitsproductie over de meetperiode bedraagt 3.111 MWh. Het aantal equivalente vollasturen bedraagt 6.550 uren ($3.111 \cdot 10^3 \text{ kWh} / 475 \text{ kW}$), wat zeer hoog is (75 % van de beschikbare tijd). Gedurende het grootste gedeelte van de draaitijd wordt een elektrisch vermogen van 464 kW aan het net geleverd. In bijlage 1 wordt een volledig overzicht van de elektriciteitsproductie gegeven.

In de maand mei 1998 was de elektriciteitsproductie van de WKK (106 MWh) laag vergeleken met de andere meetmaanden. De reden volgens de installateur was dat op 25 april 1998 er schade opgetreden is aan de gasmotor onder de vorm van een breuk in één van de turbo's. Doordat slechts één van de twee turbo's stuk was, kon de motor nog enige tijd een gereduceerd vermogen ontwikkelen. Gedurende deze periode kwam er vanwege de breuk smeeroil terecht in de uitlaat. De vrijgekomen smeeroil is dan vervolgens verbrand in de oxidatietrap van de katalysator. Door het niet werken van de temperatuurbeveiliging op de katalysator kon deze verbranding gedurende lange tijd plaats vinden wat een totaalschade aan de katalysator veroorzaakte. De WKK was op 1 mei 1998 weer beschikbaar, dit weliswaar zonder katalysator. In de periode van 8 mei 1998 tot en met 20 mei 1998 werd de installatie opnieuw stilgelegd om de nieuwe katalysator te plaatsen. Op 21 mei 1998 werd de installatie opnieuw in bedrijf gesteld.

Om dit type van totaalschade in de toekomst te voorkomen, werden door de installateur twee maatregelen genomen: (1) het plaatsen van een aparte maximum temperatuurbeveiliging op de rookgastemperatuur na de katalysator en (2) het ontwikkelen

van een softwarematige beveiliging in de WKK-besturing welke de relatie tussen elektrisch vermogen en gasklepstand vastlegt om op die manier turbodefecten te herkennen.

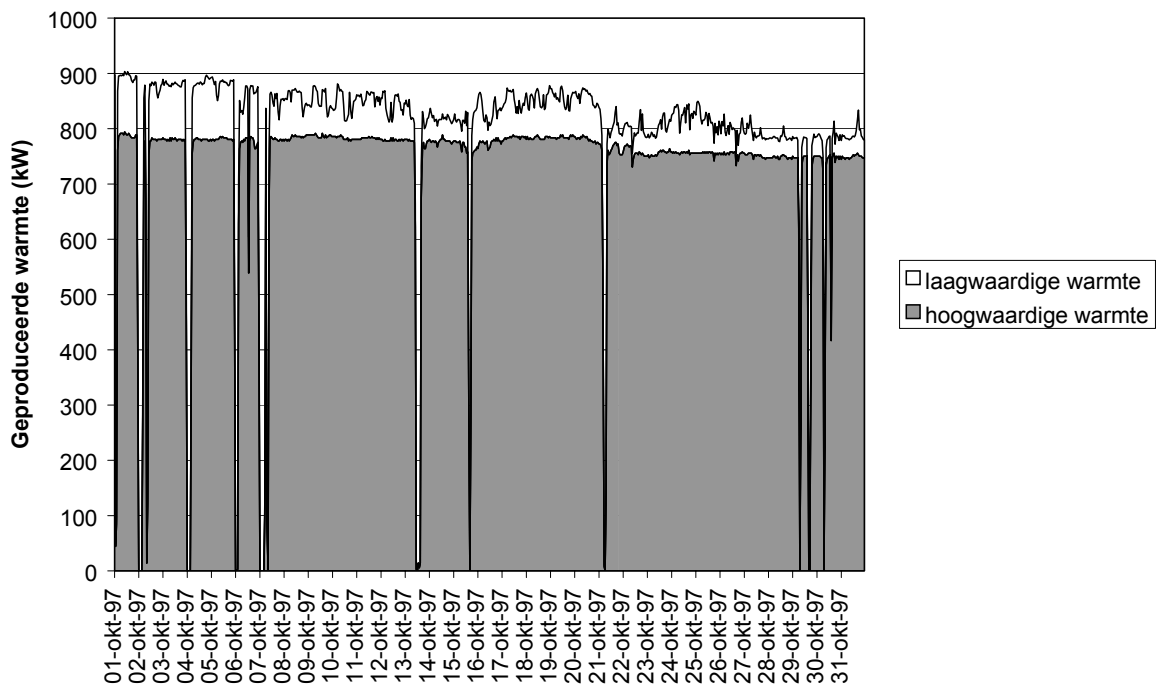
Figuur 4.6 geeft de duurcurve van de elektriciteitsproductie van de WKK weer. Hieruit blijkt duidelijk dat de WKK gedurende meer dan 6.500 uren een elektrisch vermogen levert van meer dan 450 kWe.



Figuur 4.6: Duurcurve van de elektriciteitsproductie WKK

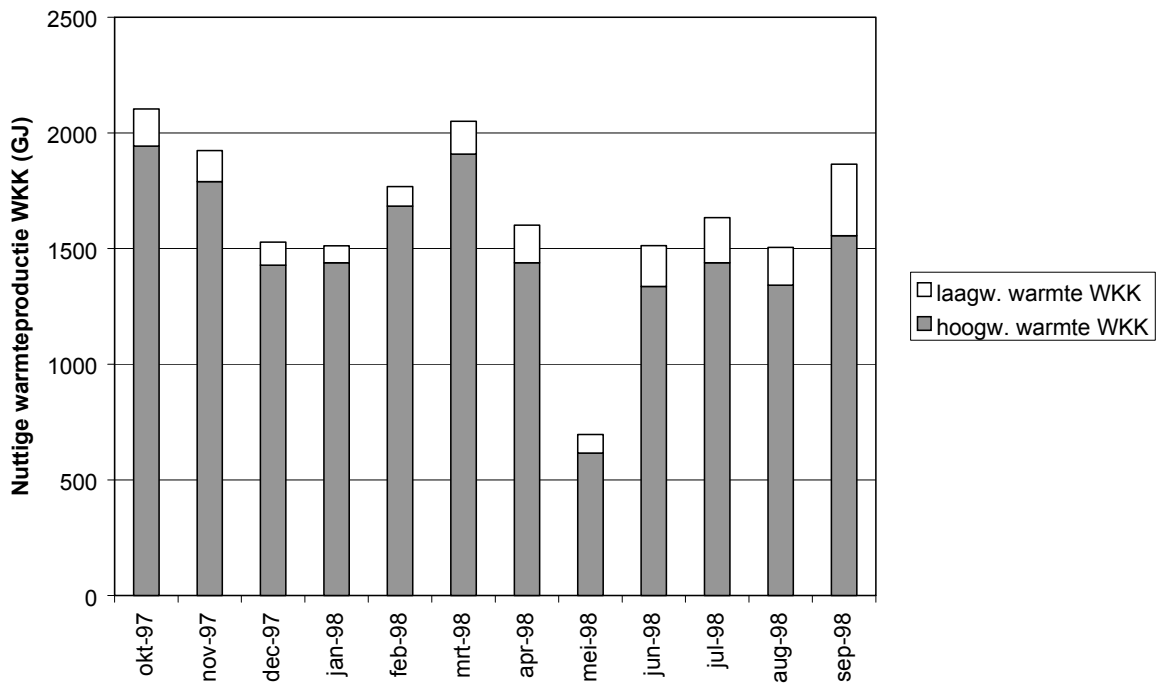
4.2 Nuttige warmteproductie WKK

Figuur 4.7 geeft het verloop weer van de warmteproductie door de WKK over de maand oktober 1997. Zoals reeds vermeld, levert de WKK zowel hoogwaardige warmte op een temperatuurniveau van 95°C als laagwaardige warmte op een temperatuurniveau van 36°C. De laagwaardige warmte is afkomstig van de rookgassencondensor. Gedurende deze maand heeft de WKK 584.287 kWh of 2.103 GJ warmte geproduceerd waarvan 1.943 GJ (of 92%) hoogwaardige warmte en 160 GJ (of 8 %) laagwaardige warmte. Gedurende het grootste gedeelte van de draaitijd werd ongeveer 750 kW hoogwaardige warmte en ongeveer 60 kW laagwaardige warmte geleverd. Uit de gegevens blijkt dat het vermogen aan hoogwaardige warmte vrij stabiel blijft in functie van de tijd. Het vermogen aan laagwaardige warmte vertoont meer fluctuaties.



Figuur 4.7: Warmte geproduceerd door de WKK (oktober 1997)

Figuur 4.8 geeft de nuttige warmteproductie van de WKK weer.



Figuur 4.8: Warmteproductie WKK over de meetperiode

Uit deze figuur blijkt dat voor de meeste maanden de nuttige warmteproductie gelegen is tussen 1.500 GJ en 2.000 GJ. Over de volledige meetperiode van een jaar werd 19.700 GJ

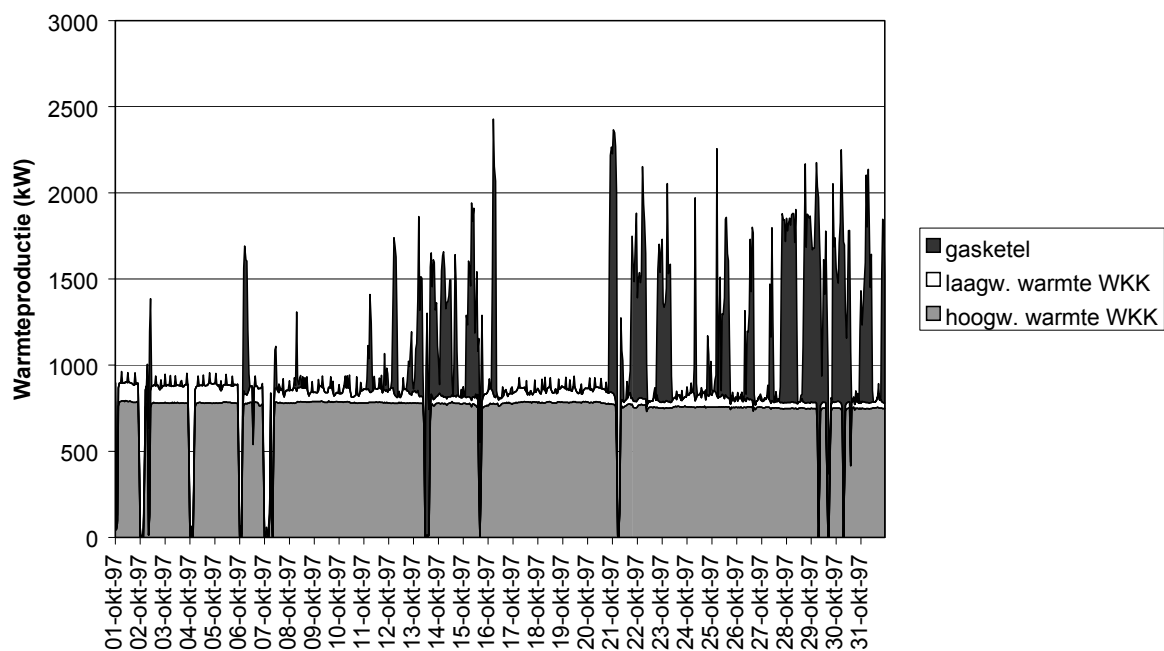
nuttige warmte geproduceerd waarvan 17.921 GJ (91%) hoogwaardige warmte en 1.779 GJ (9%) laagwaardige warmte. Het aandeel laagwaardige warmte in de totale warmteproductie van de WKK varieert tussen 5% en 17%. In de maand mei 1998 heeft de WKK weinig warmte geproduceerd, dit omwille van de reden vermeld onder “productie van elektriciteit met de WKK”. In bijlage 1 wordt een volledig overzicht op maandbasis weergegeven.

4.3 Warmtevraag

Om de warmtevraag van de serre te meten, werd een calorimeter in de distributieleiding ingebouwd. Uit de meetresultaten en na vergelijking met de metingen van de geproduceerde warmte van de WKK en de aardgasketel blijkt echter dat deze meting onnauwkeurig is. Uit een diepgaander onderzoek ter plaatse kon vastgesteld worden dat het debiet dat door de calorimeter stroomt, gedurende een groot deel van de tijd lager is of in de buurt ligt van het aanloopdebiet van de meter. De oorzaak van dit lage debiet is het feit dat er bij deze installatie slechts één kring is (en geen conventionele combinatie van een primaire en secundaire kring). Bij een lage warmtevraag in de serre stroomt een laag debiet in de kring waarbij de debietmeter een grote fout maakt. Als gevolg hiervan is de warmtemeting onnauwkeurig waardoor ze niet kan gebruikt worden voor verder analyse.

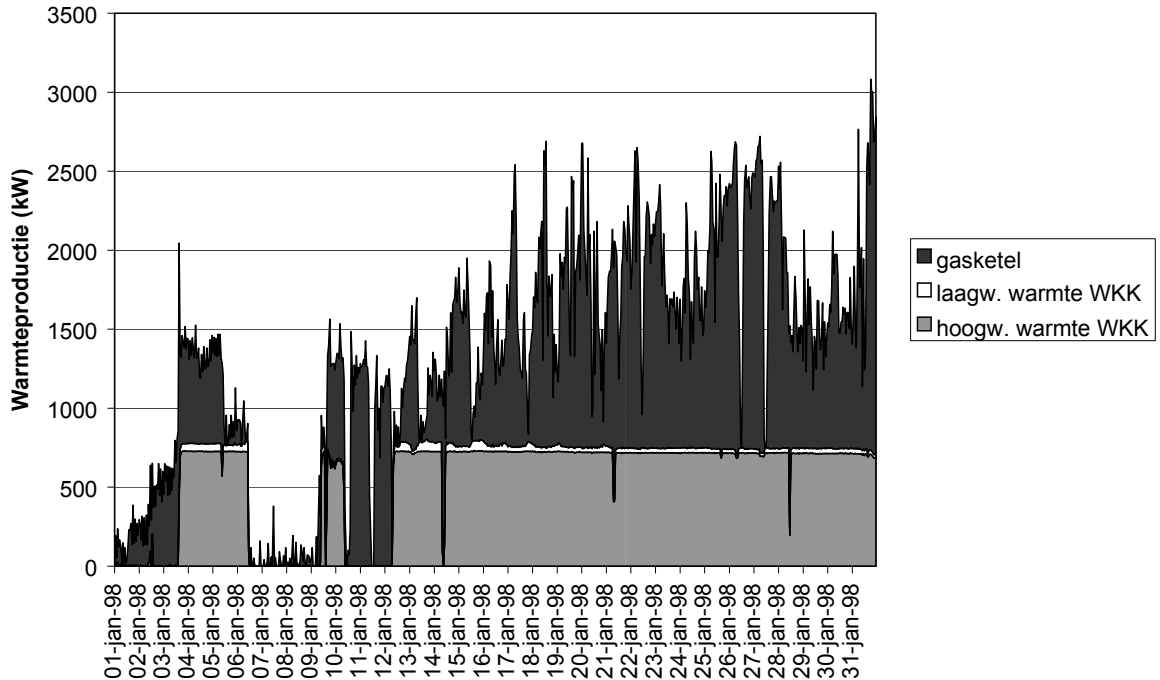
Gezien dit probleem kan de warmtevraag dus niet weergegeven worden. Wel kan uitgaande van het gasverbruik van de gasketel en de meting van de warmteproductie van de WKK een beeld bekomen worden van de totale warmteproductie. De warmtevraag is niet synchroon met de warmteproductie gezien de mogelijkheid tot warmtebuffering.

De energie-inhoud van het aardgas wordt bekomen uit de maandelijkse aardgasfacturen van Scheers (over de meetperiode is deze waarde gemiddeld $36,426 \text{ MJ}_{\text{bv}}/\text{Nm}^3$). Voor de aardgasketel wordt een rendement van 85 % op de onderste verbrandingswaarde aangenomen.

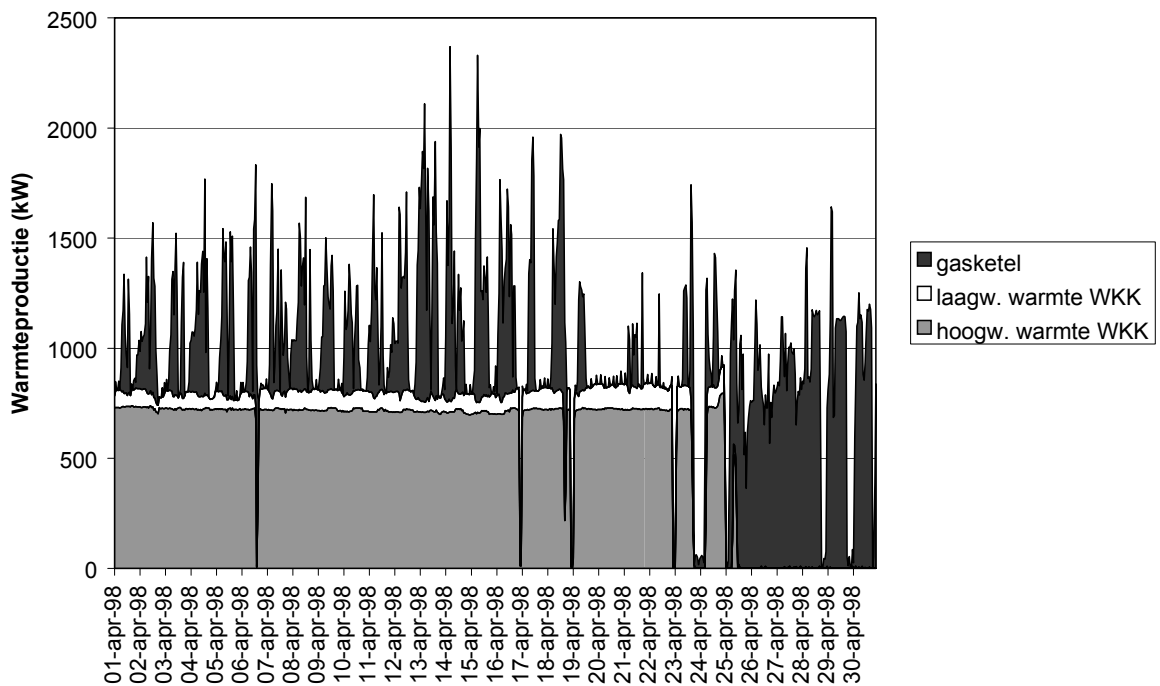


Figuur 4.9: Warmteproductie in oktober 1997

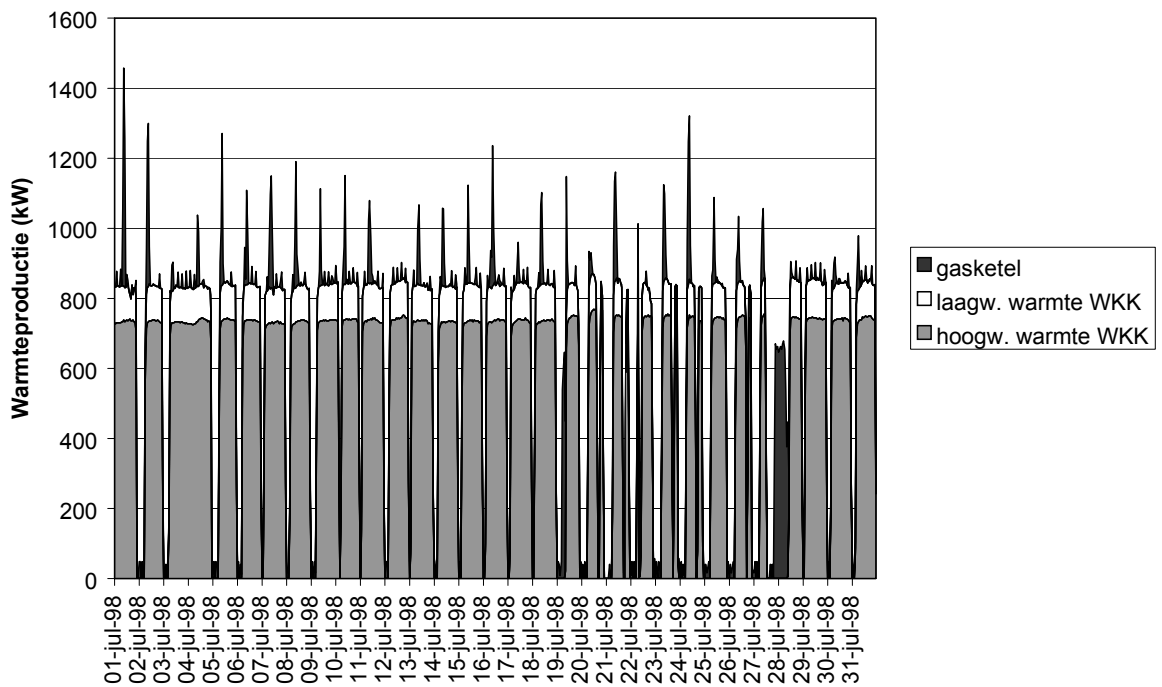
Figuur 4.9, 4.10, 4.11 en 4.12 geven de productie van warmte door de WKK en de aardgasketel weer, respectievelijk voor de maanden oktober 1997, januari 1998, april 1998 en juli 1998.



Figuur 4.10: Warmteproductie in januari 1998



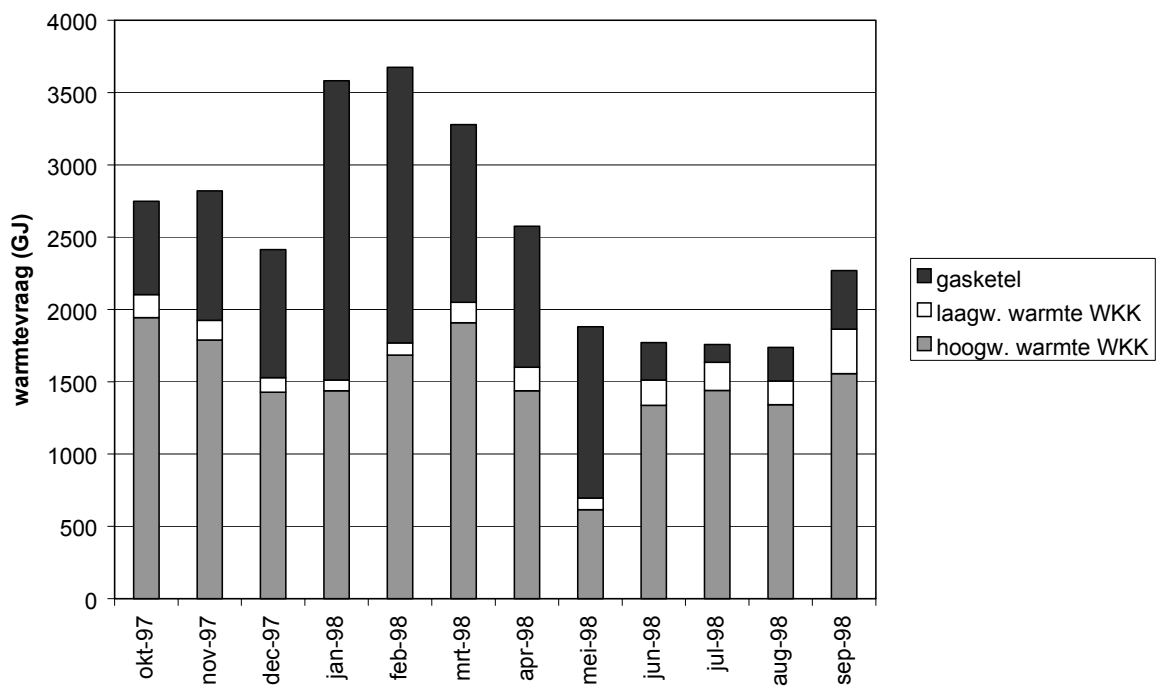
Figuur 4.11: Warmteproductie in april 1998



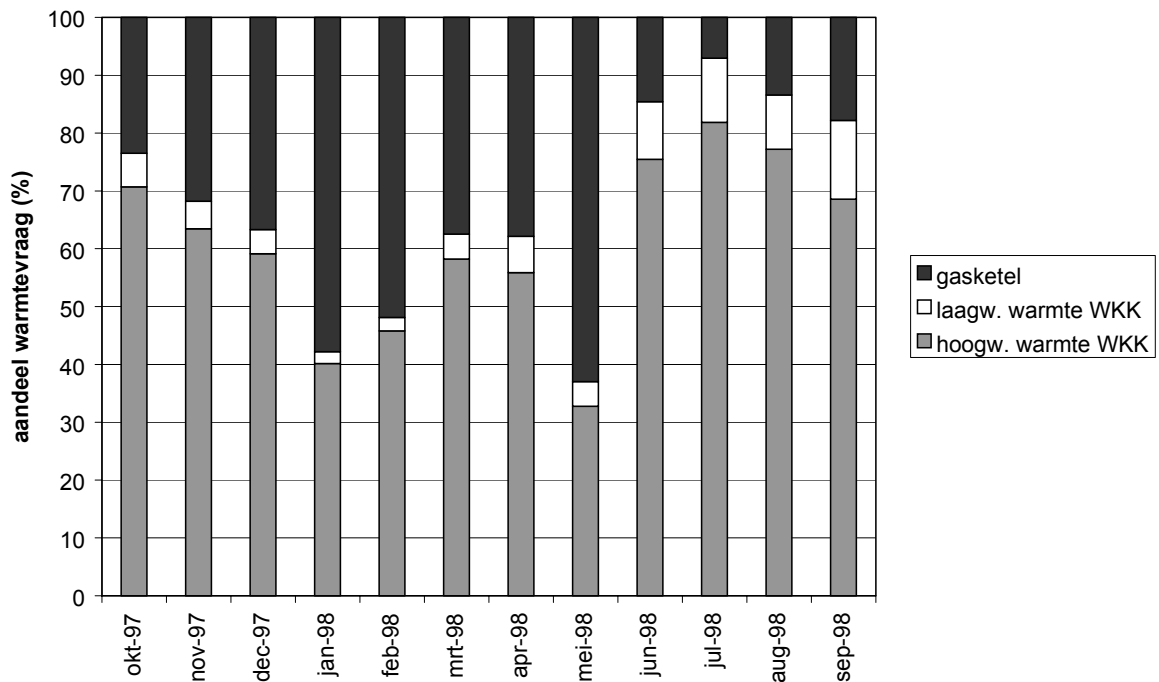
Figuur 4.12: Warmteproductie in juli 1998

Uit deze figuren blijkt dat de WKK gedurende de meeste maanden continu draait, enkel in de zomermaanden wordt de WKK 's nachts gedurende een aantal uren stilgelegd (meestal van 24:00h tot 5:00h).

Figuur 4.13 geeft de warmteproductie door WKK en ketel weer op maandbasis.



Figuur 4.13: Warmteproductie door de WKK en de ketel over de meetperiode



Figuur 4.14: Relatieve aandeel van de WKK en de ketel in de warmtevraag

Uit de meetgegevens blijkt duidelijk het verschil tussen de seizoenen. In de wintermaanden ligt de warmtevraag rond 3.500 GJ, in de zomermaanden ligt de warmtevraag rond 1.700 GJ en in het tussenseizoen rond 2.500 GJ. In de maand mei 1998 heeft ketel een groot deel van de warmte geleverd omwille van het defect aan de WKK-installatie.

Figuur 4.14 geeft het relatieve aandeel van de WKK en de ketel in de totale warmtevraag bij Scheers.

Uit de gegevens blijkt dat het relatieve aandeel van de WKK in de totale warmtevraag verschilt van seizoen tot seizoen. In de zomermaanden bedraagt het aandeel van de WKK in de totale warmtevraag ongeveer 90%, in de winter daalt dit aandeel tot ongeveer 50%. Om aan de warmtebehoefte te voldoen, dient er in de wintermaanden meer beroep gedaan te worden op de gasketel.

Tabel 4.1 geeft in cijfervorm de productie van warmte over de meetperiode weer.

Tabel 4.1: Productie van warmte over de meetperiode

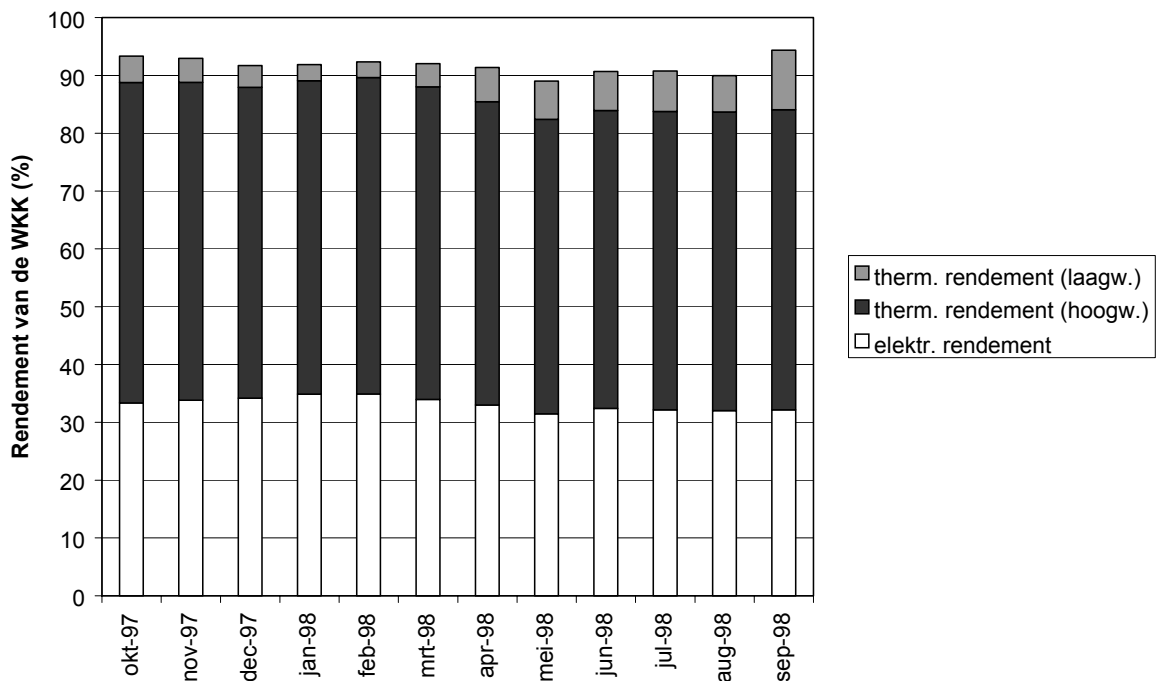
	geproduceerde warmte (GJ)	aandeel warmteproductie (%)
hoogwaardige warmte WKK	17.921	59
laagwaardige warmte WKK	1.779	6
warmte via de aardgasketel	10.810	35
totaal	30.510	100

Uit de metingen blijkt dat het grootste gedeelte van de warmtevraag gedekt wordt door de WKK namelijk 65% (59% hoogwaardige warmte en 6% laagwaardige warmte). De ketel leverde 10.810 GJ aan warmte, dit is 35% van de totale warmtevraag bij Scheers over de meetperiode. In bijlage 1 wordt een volledig overzicht op maandbasis gegeven.

4.4 Rendement van de WKK-installatie

Voor de berekeningen van de rendementen wordt uitgegaan van de metingen van het aardgasverbruik, de geproduceerde elektriciteit en de geproduceerde warmte. De calorische verbrandingswaarden vermeld op de aardgasfacturen van de gasketel werden gebruikt voor de bepaling van de energie-input van de WKK en de aardgasketel. Bij de berekeningen werd gerekend met de onderste verbrandingswaarde.

Figuur 4.15 geeft een overzicht van het rendement van de WKK op maandbasis.



Figuur 4.15: Rendement van de WKK op maandbasis

Tabel 4.2 geeft een overzicht van de minimum, de maximum en gemiddelde waarde van het elektrische en thermische rendement van de WKK-installatie.

Tabel 4.2: Rendementen van de WKK-installatie

	minimum waarde (%)	maximum waarde (%)	gemiddelde waarde (%)
elektrisch rendement	31	35	33
thermisch rendement (HW)	51	55	53
thermisch rendement (LW)	3	10	5

Gedurende de meetperiode heeft de WKK in totaal 1.024.976 Nm³ aardgas verbruikt wat overeenkomt met 33.615 GJ (onderste verbrandingswaarde. Zoals hoger vermeld werd 3.111 MWh elektriciteit geproduceerd, 17.921 GJ hoogwaardige warmte en 1.779 GJ laagwaardige warmte. Hieruit volgt dat het gemiddeld elektrisch rendement 33% bedraagt en het gemiddeld thermisch rendement 59% is. Het thermische rendement ligt hoog omwille van het feit dat naast de warmte van het motorblok, de rookgassenkoeler, de oliekoeler en de interkoeler ook nog een gedeelte van de latente warmte in de rookgassen via de rookgassencondensor benut wordt. Het totale rendement (elektrisch + thermisch) van de WKK over de meetperiode bedraagt 92%. De verhouding warmte / kracht bedraagt ongeveer 1,8. Bij vollast bedraagt het elektrisch rendement 35%.

In tabel 4.3 wordt een overzicht gegeven van het rendement over de meetperiode.

Tabel 4.3: Rendement van de WKK over de meetperiode

	waarde	eenheid	rendement (%)
brandstof	1.024.976	Nm ³	
brandstof	33.615	GJ _{ov}	
elektriciteitsproductie	3.111	MWh _{el}	33
hoogwaardige warmte	17.921	GJ	53
laagwaardige warmte	1.779	GJ	5
hoogwaardige + laagwaardige warmte	19.700	GJ	59
elektriciteits- + warmteproductie WKK	30.900	GJ	92

4.5 Emissiemetingen

Zoals vermeld werd in dit project een SCR-katalysator (Selective Catalytic Reduction) en een oxidatiekatalysator voorzien tussen de gasmotor en de rookgassenkoeling. Deze katalysatoren zorgen voor een verlaging van de concentratie aan NO_x, H_nC_m en CO.

Gezien het belang van deze katalysator, werd een emissiemeting uitgevoerd door KVBG (Koninklijke Vereniging van Belgische Gasvakklieden). De meting werd uitgevoerd op 3 december 1997. Volgende componenten werden voor en na de katalysator gemeten: NO, NO₂, C₂H₄ en CO. Tabel 4.4 geeft de resultaten van de emissiemetingen van KVBG weer. De maximum toelaatbare waarden werden opgegeven in de gewasverzekering.

Uit deze emissiemetingen van KVBG blijkt dat de limietwaarden nergens overschreden of benaderd worden. De katalysator voldoet dus aan de normen opgelegd door de gewasverzekering.

	Voor de rookgaswassing	Na de rookgaswassing
--	------------------------	----------------------

	Gemeten waarde	Maximum toelaatbaar	Gemeten waarde	Maximum toelaatbaar
	gr/GJ	gr/GJ	gr/GJ	gr/GJ
NO	113,3	630	4,95	15
NO ₂	77,7	170	3,4	12,2
C ₂ H ₄	0	20	0	0,35
CO	0	300	0	10

Tabel 4.4: Resultaten van de emissiemetingen van KVBG

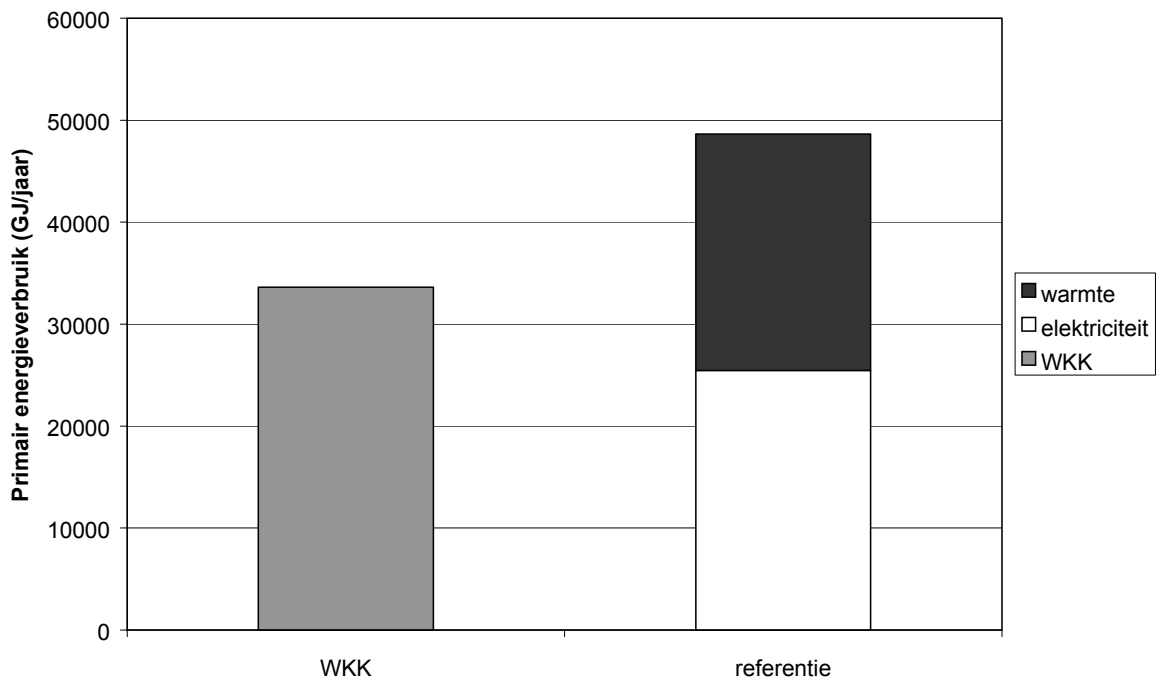
5 PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN VERMINDERING CO₂-EMISSION

5.1 Primaire energiebesparing

Voor de bepaling van de besparing op primaire energie wordt de situatie met WKK vergeleken met een referentiesituatie zonder WKK (gescheiden opwekking van de door de WKK geproduceerde warmte en elektriciteit). In de vergelijking wordt dus enkel de WKK installatie beschouwd en niet de bijverwarming via de aardgasketel. De volgende uitgangspunten worden aangenomen:

- De WKK-installatie wordt vergeleken met een referentiesituatie waarbij de elektriciteit geproduceerd wordt door een referentiecentrale en waarbij de hoogwaardige en laagwaardige warmte van de WKK geleverd wordt via een aardgasketel.
- Voor het rendement van de elektriciteitscentrale wordt 44% aangenomen (zie bijlage 2).
- Voor het globale rendement van de aardgasketel wordt 85% verondersteld.

In figuur 5.1 wordt een overzicht gegeven van het primaire energieverbruik met WKK en zonder WKK over de meetperiode (1 jaar).



Figuur 5.1: Primair energieverbruik over de meetperiode

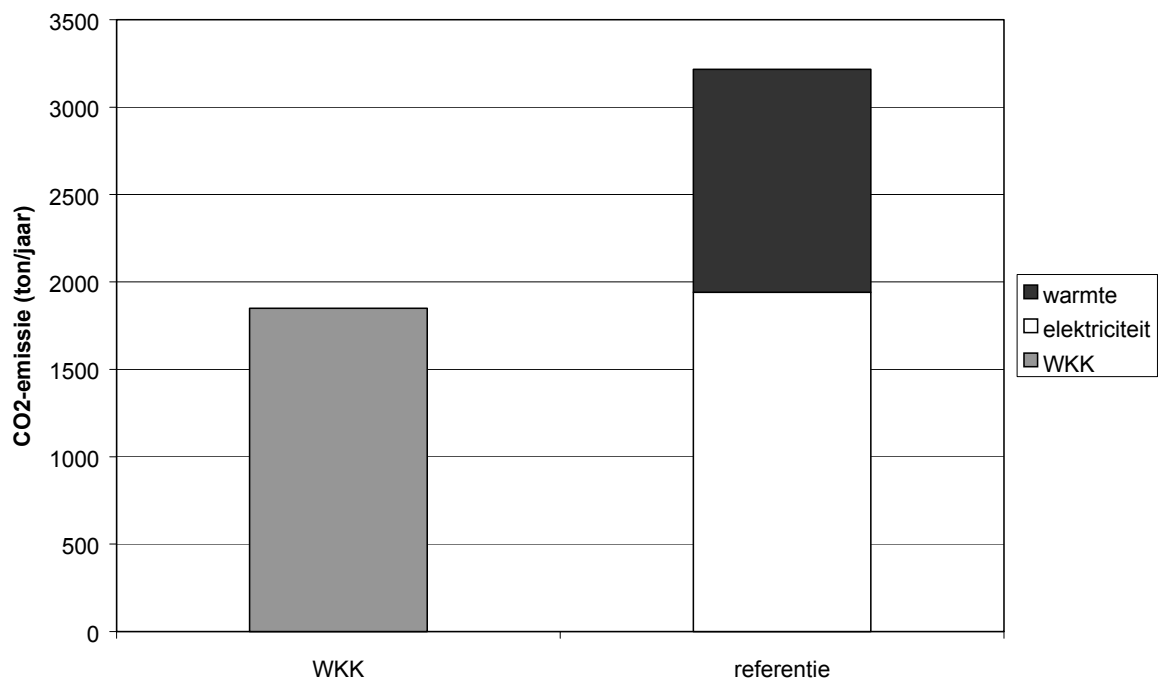
Uit de gegevens en de berekeningen kan afgeleid worden dat het primair energieverbruik van de WKK-installatie 33.615 GJ/jaar bedraagt en voor eenzelfde productie van warmte en elektriciteit zou hiervoor in de referentiesituatie 48.631 GJ/jaar (ketel: 23.176 GJ/jaar, elektriciteit: 25.455 GJ/jaar) nodig geweest zijn. Dit betekent dus dat met de WKK over de meetperiode 15.016 GJ/jaar of 31% bespaard werd ten opzichte van de referentiesituatie.

5.2 Vermindering CO₂-emissie

Voor de bepaling van de reductie op CO₂-emissie worden naast de veronderstellingen gemaakt bij de bepaling van de besparingen op primaire energie, de volgende aannames gedaan:

- De CO₂-emissie voor de productie van elektriciteit in een referentiecentrale bedraagt 624 g CO₂ / kWh_{el} (zie bijlage 2).
- De CO₂-emissie van aardgas bedraagt 55 g CO₂ / MJ.

Figuur 5.2 toont de CO₂-emissie van de WKK-installatie en de referentiesituatie voor de meetperiode (oktober 1997 – september 1998).



Figuur 5.2: CO₂-emissie met en zonder WKK over het meetjaar

Uit deze figuur blijkt dat de CO₂-emissie bij een installatie met WKK gelijk is aan 1.849 ton/jaar. In de situatie zonder WKK, zou de uitstoot van CO₂ gelijk zijn aan 3.216 ton/jaar waarvan 1.941 ton/jaar voor de productie van elektriciteit in de centrale en 1.275 ton/jaar voor de productie van de warmte via de aardgasketel.

De reductie van de CO₂-emissie over de meetperiode bedraagt 1.367 ton/jaar ofwel 43 % ten opzichte van de referentiesituatie. Gezien een groot deel van de CO₂ in de serre gebruikt wordt voor bemesting van de planten waarbij een omzetting naar koolstof plaatsvindt, is de werkelijke uitstoot van CO₂ bij deze installatie veel lager dan 1.367 ton/jaar.

6 ECONOMISCHE EVALUATIE

Het betreft een project in samenwerking met de elektriciteitsmaatschappij, dit betekent:

- de elektriciteitsmaatschappij investeert in de WKK-installatie, de tuinder doet een (beperkte) investering, meestal langs warmtetechnische zijde;
- de geproduceerde elektriciteit komt integraal op het net, voor de klant verandert er niets wat de aankoop van elektriciteit betreft.
- de geproduceerde warmte wordt tegen een voordelig tarief verkocht.

Tabel 6.1 geeft een overzicht van de factoren van belang bij de economische evaluatie van het project (er wordt geen rekening gehouden met de impact van de CO₂ bemesting):

Tabel 6.1: overzicht kosten-baten balans

KOSTEN	BATEN
<p>INVESTERINGSKOSTEN</p> <ul style="list-style-type: none"> - rookgaskatalysator - rookgascondensor <p>EXPLOITATIEKOSTEN</p> <ul style="list-style-type: none"> - ureum/water - preventief onderhoud - vervanging katalysatormateriaal 	<p>BESPARING OP DE ENERGIEREKENING</p> <p><u>energierekening geen WKK</u></p> <p>brandstof ketel</p> <p>↑↑</p> <p>↓↓</p> <p><u>energierekening WKK</u></p> <p>aankoop warmte</p> <p>SUBSIDIES, ...</p>

a) Investering

De investering in rookgaskatalysator en condensor bedraagt 5.431.606 BEF (exclusief B.T.W.).

b) Exploitatiekosten

De exploitatiekosten worden als volgt benaderd:

- verbruik ureum/water	7 BEF/uur
- preventief onderhoud	6 BEF/uur
- vervanging katalysatormateriaal	15 BEF/uur
- TOTAAL	<u>28 BEF/uur</u>

De WKK was over de meetperiode ongeveer 7000 uur operationeel (figuur 4.6). Dit geeft een exploitatiekost van 196.000 BEF op jaarbasis (exclusief B.T.W.).

c) Besparing op de energierekening

Met WKK

De energierekening met WKK is de warmteaankoop; deze bedroeg gedurende de meetperiode 2.086.090 BEF (exclusief B.T.W.).

Zonder WKK

In de referentiesituatie zonder WKK diende zowel de aangekochte hoogwaardige warmte als de gratis laagwaardige warmte geproduceerd te worden met de aardgasketel. Dit geeft een meerverbruik van 23.176 GJ_{cow} of 25.751 GJ_{cbw}.

Rekening houdend met het geldend aardgastarief voor de tuinbouw en de maandelijkse parameters Iga en Igd betekent dit een uitgave van 3.281.626 BEF.

Gerealiseerde besparing

De gerealiseerde besparing bedraagt 1.195.536 BEF.

De netto opbrengst is dan gelijk aan 999.536 BEF.

d) Subsidie

De toegekende subsidie bedraagt 35% of 1.901.066 BEF.

e) Terugverdientijd

De terugverdientijd bedraagt 5,4 jaar exclusief subsidie. Inclusief subsidie bedraagt de terugverdientijd 3,5 jaar.

7 MENING VAN DE EIGENAAR SCHEERS

Het WKK-systeem in mijn bedrijf kan eigenlijk opgesplitst worden in 2 delen: enerzijds het gedeelte om energie (elektriciteit en warmte) te produceren en anderzijds de rookgaswassing. Het gedeelte om energie te produceren is in april 1997 opgestart, de rookgaswassing werd een maand later opgestart.

De energieproductie is het eerste jaar probleemloos verlopen. De rookgaswassing daarentegen heeft diverse storingen gekend: problemen met de ureuminjectie, verstopping van de inspuitslans, problemen met de computerbediening en de meetcellen. Voor de installateur van de katalysator (Siemens) was echter geen enkele inspanning te veel om de installatie terug draaiende te krijgen.

In mei 1998 is de turbo van de gasmotor stukgedraaid, waardoor olie in de katalysator terechtgekomen is. Hierdoor werd het katalysatormateriaal zodanig vervormd dat er een nieuwe katalysator geplaatst moest worden. Deze nieuwe katalysator heeft tot hier toe zijn degelijkheid bewezen, er kan zelfs meer CO₂ geleverd worden, wat voor mijn bedrijf natuurlijk van kapitaal belang is voor de kwaliteit en de productie van de tomaten. Een tweede pluspunt van deze nieuwe katalysator is dat de CO₂ veel zuiverder is (minder CO en NO) wat toch een voordeel is voor de planten.

De interesse van collega tuinders voor mijn installatie is zeer groot. Op dit moment zijn er zelfs een achttal gelijkaardige installaties in gebruik in België en dat zal in de toekomst zeker nog vermeerder worden gezien de prijzen voor de rookgaswassing al gedaald zijn naar ongeveer 60% van de prijs die ik betaald heb. Zonder de subsidies zou het project bij ons niet rendabel geweest zijn.

Als besluit zou ik willen zeggen dat de WKK-projecten met rookgaswassing een grote winnaar hebben en dat is het milieu, de CO₂- en de SO₂-uitstoot wordt sterk gereduceerd.

Louis Scheers
Tuinder
Kontich

8 BESLUIT

Gedurende de meetperiode (oktober 1997 – september 1998) draaide de WKK 6.550 vollasturen waarbij 1.024.976 Nm³ aardgas verbruikt werd en 3.111 MWh elektriciteit geproduceerd werd. In het totaal werd door de WKK 19.700 GJ nuttige warmte geproduceerd waarvan 17.921 GJ (91%) hoogwaardige warmte en 1.779 GJ (9%) laagwaardige warmte (via de rookgassencondensor).

Het gemiddeld elektrisch rendement bedraagt 33% en het gemiddeld thermisch rendement is 59%. Het thermische rendement ligt hoog omwille van het feit dat naast de warmte van het motorblok, de rookgassenkoeler, de oliekoeler en de interkoeler ook nog een gedeelte van de latente warmte in de rookgassen via de rookgassencondensor benut wordt. Het totale rendement (elektrisch + thermisch) van de WKK over de meetperiode bedraagt 92%. De verhouding warmte / kracht bedraagt ongeveer 1,8. Bij vollast bedraagt het elektrisch rendement 35%.

De totale warmtevraag bij Scheers bedroeg 30.510 GJ, waarvan het grootste gedeelte gedekt werd door de WKK namelijk 65% (59% hoogwaardige warmte en 6% laagwaardige warmte). De ketel leverde 10.810 GJ aan warmte, dit is 35% van de totale warmtevraag.

Uit de emissiemetingen van KVBG (NO, NO₂, C₂H₄ en CO) blijkt dat de limietwaarden, zoals opgegeven in de gewasverzekering, niet overschreden of benaderd worden.

Het primair energieverbruik van de WKK-installatie bedroeg 33.615 GJ/jaar en voor eenzelfde productie van warmte en elektriciteit zou hiervoor in de referentiesituatie 48.631 GJ/jaar nodig geweest zijn. Dit betekent dus dat met de WKK over de meetperiode 15.016 GJ/jaar of 31% bespaard werd ten opzichte van de referentiesituatie.

De reductie van de CO₂-emissie over de meetperiode bedraagt 1.367 ton/jaar ofwel 43 % ten opzichte van de referentiesituatie. Gezien een groot deel van de CO₂ in de serre gebruikt wordt voor bemesting van de planten waarbij een omzetting naar koolstof plaatsvindt, is de werkelijke reductie van CO₂-emissie bij deze installatie veel hoger dan 1.367 ton/jaar.

Door Scheers werd er geïnvesteerd in de rookgaskatalysator en de condensor. De gerealiseerde besparing bestaat uit hoogwaardige warmte aan een voordelig tarief en de gratis beschikbare laagwaardige warmte. De terugverdientijd bedraagt 5,4 jaar exclusief subsidie (3,5 jaar inclusief subsidie).

BIJLAGE I: ELEKTRICITEITS- EN WARMTEPRODUCTIE BIJ SCHEERS, KONTICH

maand	aardgas WKK	aardgas WKK	elektriciteit WKK	hoogwaardige warmte WKK	laagwaardige warmte WKK	aardgas ketel	aardgas ketel	warmte- productie ketel
	Nm ³	GJ _{ov}	MWh	GJ	GJ	Nm ³	GJ _{ov}	GJ
oktober '97	109.130	3.506	325	1.943	160	23.629	759	645
november '97	98.916	3.256	306	1.790	135	32.028	1.054	896
december '97	79.640	2.656	252	1.428	100	31.238	1.042	886
januari '98	79.561	2.653	257	1.439	73	73.034	2.436	2.070
februari '98	92.306	3.079	299	1.684	85	67.271	2.244	1.907
maart '98	105.634	3.531	333	1.909	141	43.221	1.445	1.228
april '98	82.004	2.743	251	1.439	162	34.260	1.146	974
mei '98	37.352	1.211	106	616	80	42.964	1.393	1.184
juni '98	80.292	2.596	234	1.337	176	9.407	304	258
juli '98	86.302	2.789	249	1.439	195	4.523	146	124
augustus '98	80.772	2.598	231	1.342	163	8.518	274	233
september '98	93.069	2.999	268	1.556	308	14.759	476	404
TOTAAL	1.024.976	33.615	3.111	17.921	1.779	384.852	12.717	10.810

BIJLAGE II: RENDEMENT EN CO₂-EMISSIONSFACITOR ELEKTRICITEITSPARK

De afleiding van de gehanteerde CO₂-emissiefactor voor elektriciteit (624 g/kWh) en het rendement wordt in deze bijlage meer specifiek beschreven.

- Volgens [1] zijn de aandelen brandstof in de elektriciteitsvoorziening in 2000 als volgt:
- 15,9% steenkool;
- 26,4% aardgas (voornamelijk STEG).
- Het rendement van een steenkoolcentrale bedraagt volgens [1] 36,5%; dit leidt tot een CO₂-emissiefactor van 962 g/kWh_{el}.
- Voor aardgas wordt verondersteld dat in 2000 het conversierendement gemiddeld 48% bedraagt, wat leidt tot een CO₂-emissie van de elektriciteitsproductie met deze primaire energievorm van 420 g/kWh_{el}.

Het rendement en de CO₂-emissiefactor worden dan als volgt bepaald:

- rendement: $(0,159*36,5+0,264*48)/(0,159+0,264) = 44\%$
- CO₂-factor: $(0,159*962+0,264*420)/(0,159+0,264) = 624 \text{ g/kWh}$.

REFERENTIES

1. P. Bulteel en F. Vandenberghe, Elektriciteitsproductie en CO₂-emissies, Informatiedag CO₂, Laborelec, Linkebeek, mei 1993.