

**ANRE-DEMONSTRATIEPROJECT:  
WKK BIJ ANODISERINGSBEDRIJF  
ANALU, MACHELEN**

**Eindrapport**

**J. Van Bael, W. Luyckx, J. Stroobants, T. Daems, J. Cools**

**VITO**

**Augustus 1998**

## 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 een WKK-installatie (822 kWe) in combinatie met een absorptiekoelmachine aan het bedrijf Analu gevestigd te Machelen nabij Brussel. Analu is een bedrijf gespecialiseerd in het anodiseren van aluminiumprofielen voor derden. De geproduceerde elektriciteit wordt gebruikt binnen het bedrijf en de warmte van de WKK wordt gebruikt voor opwarming van de baden, voor de aandrijving van een absorptiekoelmachine en voor de aanmaak van gedestilleerd water.

VITO voert in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap een evaluatie van dit demonstratieproject uit. Van januari 1997 tot en met december 1997 werden de energiestromen bij Analu op uurlijkse basis gemeten en geregistreerd. Op basis van deze metingen werden de technische prestaties van de technologie, de bereikte energiebesparing, de vermindering van de CO<sub>2</sub>-emissie en de rendabiliteit geëvalueerd.

Gedurende de meetperiode (januari – december 1997) heeft de WKK-installatie 2.785 uren (of 1.834 equivalente vollasturen) gedraaid waarbij 398.656 liter gasolie verbruikt werd en 1.507 MWh elektriciteit geproduceerd werd. Dit komt overeen met een gemiddeld elektrisch vermogen van 541 kW. Het lage aantal draaiuren is te wijten aan een probleem met de rookgaskoeler, waardoor de installatie stilgelegd heeft gedurende de maanden juli, augustus en september 1997. Na vervanging van deze koeler kon de installatie opnieuw in gebruik genomen worden begin oktober 1997.

In de normale meetmaanden (maanden met normale werking van de installatie en zonder meettechnische problemen) wordt de warmtevraag van de baden en de absorptiekoelmachine gemiddeld gezien voor 30 % gedekt door de motorwaterkoeler van de WKK, voor 35 % gedekt door de rookgaskoeler van de WKK en voor 35 % gedekt door de olietel. De WKK levert dus voor die betreffende maanden 65 % van de gevraagde warmte. Verder wordt (in de normale meetmaanden) 31 % van de benutte warmte gebruikt door de absorptiekoelmachine en 69 % voor het op temperatuur houden van de baden.

Het gemiddeld elektrische rendement van de WKK-installatie is gelegen rond 38 % en het gemiddelde thermische rendement is gelegen rond 35 % wat het totaal rendement op 73 % brengt. De warmtekrachtverhouding ligt voor de meeste maanden rond 0,9. Het elektrisch rendement bij vollast ligt tussen 40 % en 41 %. Het globale rendement en de warmtekrachtverhouding zouden hoger liggen indien naast de warmte van de motorblokkkoeling en de rookgaskoeling eveneens de warmte van de oliekoeling en de intercooler nuttig zouden gebruikt worden, wat normaal voorzien was voor de aanmaak van gedestilleerd water.

Gedurende 13 dagen in april 1998 werd de COP van de absorptiekoelmachine gemeten en werd een gemiddelde waarde van 0,35 bekomen wat laag is vergeleken met gangbare waarden (rond 0,7). De oorzaak is waarschijnlijk de lage motorwatertemperatuur waardoor het koelvermogen van de machine daalt (gemiddeld 78 kW<sub>koeling</sub> in plaats van 340 à 400 kW<sub>koeling</sub>).

Voor de bepaling van de primaire energiebesparing en de reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie werd uitgaande van de gegevens van de normale meetmaanden een extrapolatie gemaakt voor de andere maanden (ook voor de maanden met volledige stilstand).

Het primair energieverbruik van de WKK installatie is dan gelijk aan 18.778 GJ/jaar. Het primair energieverbruik bij gescheiden opwekking bedraagt 23.879 GJ/jaar. De besparing op primair energieverbruik bedraagt dus 5.101 GJ/jaar of 21 % t.o.v. de referentiesituatie. De CO<sub>2</sub>-emissie van de WKK is gelijk aan 1.371 ton/jaar voor de meetperiode 1997. Bij gescheiden productie, zou de uitstoot van CO<sub>2</sub> gelijk zijn aan 1.796 ton/jaar. De reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie over de meetperiode bedraagt 425 ton/jaar ofwel 24 % ten opzichte van de referentiesituatie.

Voor de economische evaluatie werd dezelfde extrapolatie gemaakt als bij de bepaling van de primaire energiebesparing. De jaarlijkse energiekostenbesparing bedraagt dan 5,1 MBEF en de onderhoudskosten 0,4 MBEF/jaar wat de jaarlijkse netto opbrengst van het WKK-project op 4,7 MBEF brengt. Zonder rekening te houden met subsidies, bedragen de investeringskosten van de WKK 15,3 MBEF en wordt de installatie terugbetaald op 3,3 jaar. Indien het jaar 1997, inbegrepen de stilstandsperiode, als referentie genomen wordt, dan is de terugverdientijd 3,9 jaar.

# INHOUD

<b>1</b>	<b>INLEIDING .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE.....</b>	<b>6</b>
2.1	OVERZICHT VAN DE INSTALLATIE.....	6
2.2	WKK-INSTALLATIE.....	6
<b>3</b>	<b>METINGEN EN REGISTRATIE VAN DE ENERGIESTROMEN .....</b>	<b>8</b>
3.1	OVERZICHT VAN DE METINGEN.....	8
3.2	WKK-INSTALLATIE.....	10
3.3	ABSORPTIEKOELMACHINE .....	10
3.4	VERWARMING BADEN.....	10
<b>4</b>	<b>TECHNISCHE EVALUATIE.....</b>	<b>12</b>
4.1	PRODUCTIE VAN ELEKTRISCHE ENERGIE MET DE WKK.....	12
4.2	WARMTEVRAAG.....	14
4.3	RENDEMENT VAN DE INSTALLATIE .....	16
<b>5</b>	<b>PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN VERMINDERING CO<sub>2</sub>-EMISSION.....</b>	<b>19</b>
5.1	PRIMAIRE ENERGIEBESPARING.....	19
5.2	VERMINDERING CO <sub>2</sub> -EMISSION.....	21
<b>6</b>	<b>ECONOMISCHE EVALUATIE .....</b>	<b>22</b>
6.1	INVESTERINGS- EN ONDERHOUDSKOSTEN.....	22
6.2	ENERGIEKOSTENBESPARING .....	22
6.3	RENDABILITEIT.....	23
<b>7</b>	<b>BESLUIT.....</b>	<b>24</b>
	BIJLAGE I	
	BIJLAGE II	
	BIJLAGE III	

## 1 INLEIDING

Analu is een aluminium anodisatiebedrijf gelegen te Machelen nabij Brussel. Het bedrijf is gespecialiseerd in het anodiseren van aluminiumprofielen voor derden. Bij de anodisatie wordt aluminiumoxide afgezet op de buitenzijde van het profiel, zodat een harde laag wordt gevormd die verdere corrosie voorkomt.

Om de energiekosten te reduceren werd besloten om een WKK (dieselmotor + generator 822 kWe) te plaatsen waarbij de warmte gebruikt wordt voor de verwarming van de baden, voor de aanmaak van gedestilleerd water en voor de aandrijving van een absorptiekoelmachine (340 à 400 kW koeling afhankelijk van de hoeveelheid en het temperatuurniveau van de warmte die geleverd wordt aan de absorptiekoelmachine en het temperatuurniveau van de koelvraag).

VITO voert in opdracht van de Afdeling Natuurlijke Rijkdommen en Energie (ANRE) van de Vlaamse Gemeenschap een evaluatie van dit demonstratieproject uit. Het demonstratieproject werd goedgekeurd in december 1993 en het aanvangsverslag werd opgemaakt maart 1994. Eind 1995 werd de WKK-installatie in bedrijf genomen.

Omwille van problemen met kableringswerken die uitgevoerd moesten worden door de leverancier en omwille van het feit dat de debieten vrij snel wisselen wat pas na inbedrijfname kon geconstateerd worden en waardoor meer rekenaars geplaatst moesten worden, kon de meetperiode pas van start gaan in januari 1997.

Gedurende een meetperiode van 1 jaar werden de energiestromen op uurbasis opgemeten en geregistreerd. Op basis van deze metingen worden de technische prestaties van de technologie, de bereikte energiebesparing, de vermindering van de CO<sub>2</sub>-emissie en de rendabiliteit geëvalueerd.

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

In hoofdstuk 5 worden de primaire energiebesparing en de CO<sub>2</sub>-emissiereductie bepaald. De economische evaluatie wordt beschreven in hoofdstuk 6, waarna het besluit geformuleerd wordt.

## 2 TECHNISCHE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE

### 2.1 Overzicht van de installatie

Een schema van de installatie bij Analu wordt weergegeven in figuur 2.1. De WKK-installatie bestaat uit een dieselmotor die een generator aandrijft en uit 3 thermische kringen: een kring voor de absorptiekoelmachine, een kring voor de baden en een kring voor de aanmaak van gedestilleerd water.

In de kring van de absorptiekoelmachine wordt warmte toegevoegd van het motorblok. Indien de temperatuur van het water te laag is voor de absorptiekoelmachine, kan via warmtewisselaar WW1 warmte uit de kring voor de baden toegevoegd worden. Deze warmte wordt vervolgens verbruikt in de absorptiekoelmachine. Indien de retourtemperatuur van het water voor de motorblokkoeeling te hoog is, kan er gekoeld worden via een noodkoeler.

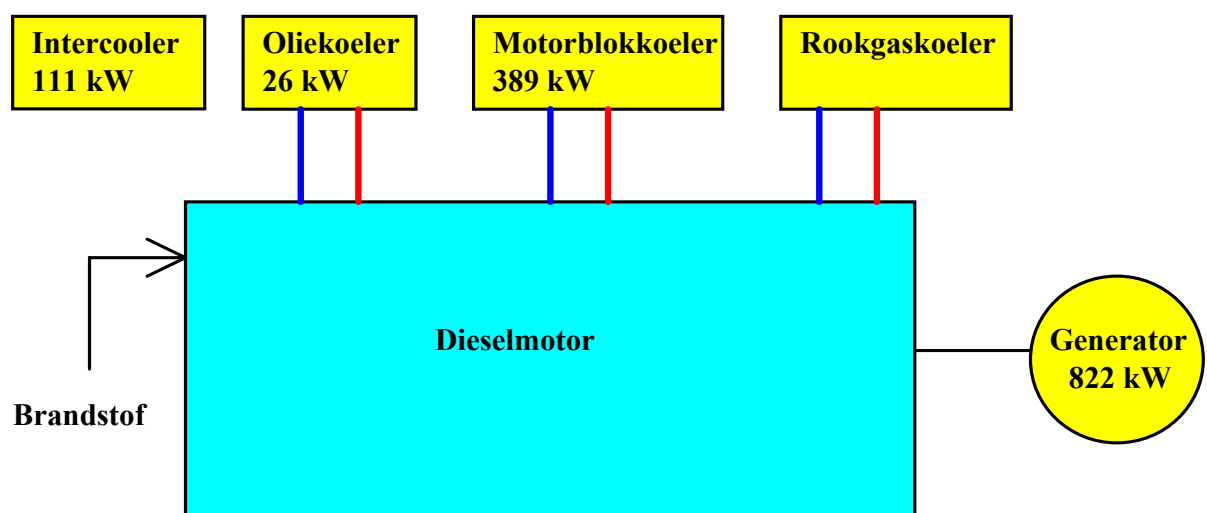
In de kring van de baden wordt warmte toegevoegd via de rookgaskoeler van de WKK en via een gasolieketel. De warmte (90°C à 110°C) wordt hierbij gebruikt voor de opwarming en het op temperatuur houden van de verschillende baden.

De warmte van de oliekoeling en de intercooler tezamen met de warmte van een exotherm proces in een welbepaald bad, worden gebruikt voor de aanmaak van gedestilleerd water.

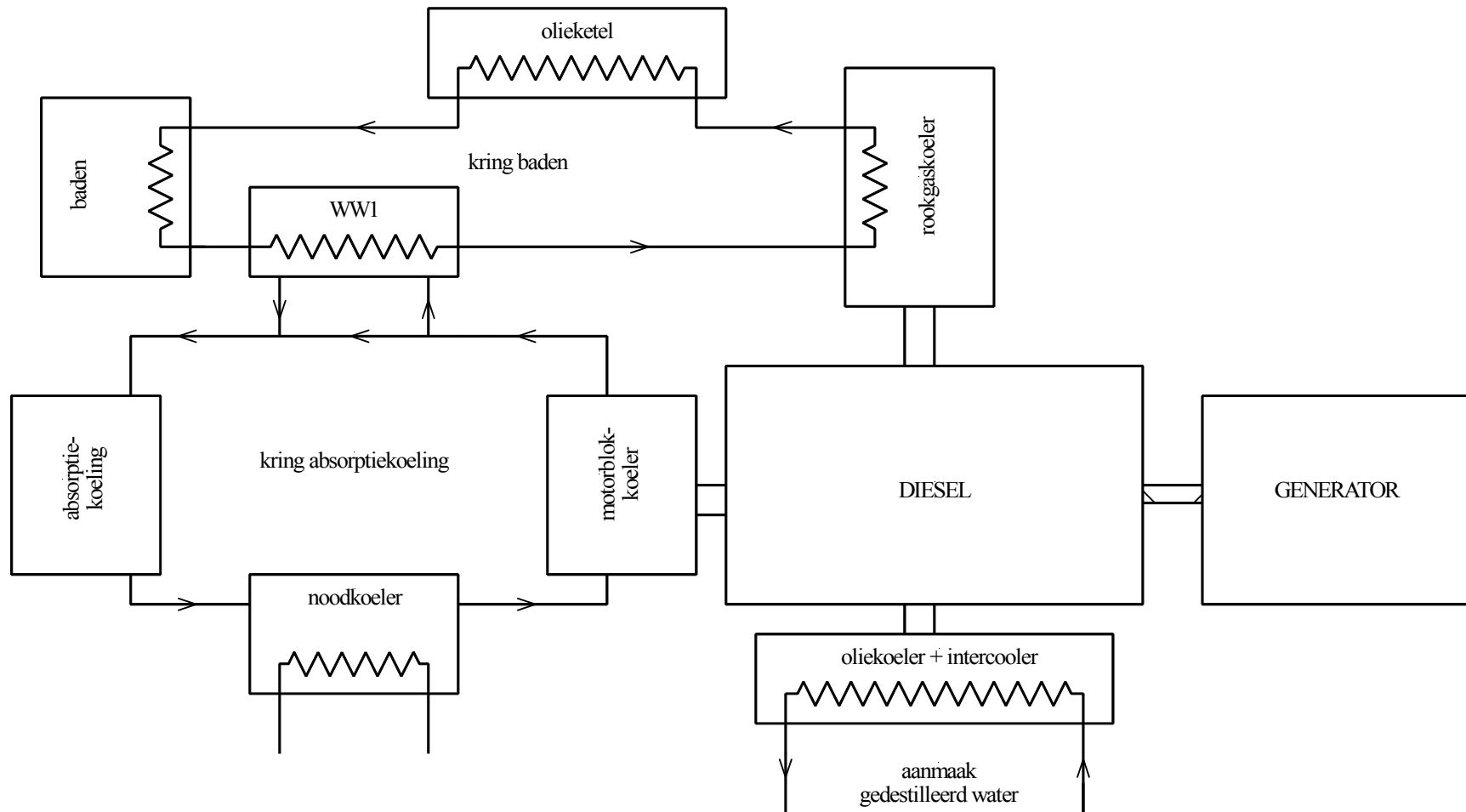
Om aan de warmtevraag te voldoen, wordt dus gebruik gemaakt van de warmte van de WKK (motorblokkoeeler, oliekoeler, intercooler en rookgaskoeler) tezamen met de warmte geproduceerd via de gasolieketel.

### 2.2 WKK-installatie

Figuur 2.2 geeft het blokschema van de WKK-installatie weer tezamen met de vermogens volgens de specificaties van de leverancier.



Figuur 2.2: Blokschema van de WKK-installatie



Figuur 2.1: Schematische weergave van de installatie bij Analu

### 3 METINGEN EN REGISTRATIE VAN DE ENERGIESTROMEN

#### 3.1 Overzicht van de metingen

Figuur 3.1 geeft een overzicht van de installatie met de ingebouwde meetapparatuur.

De verklaring van de symbolen wordt weergegeven in tabel 3.1.

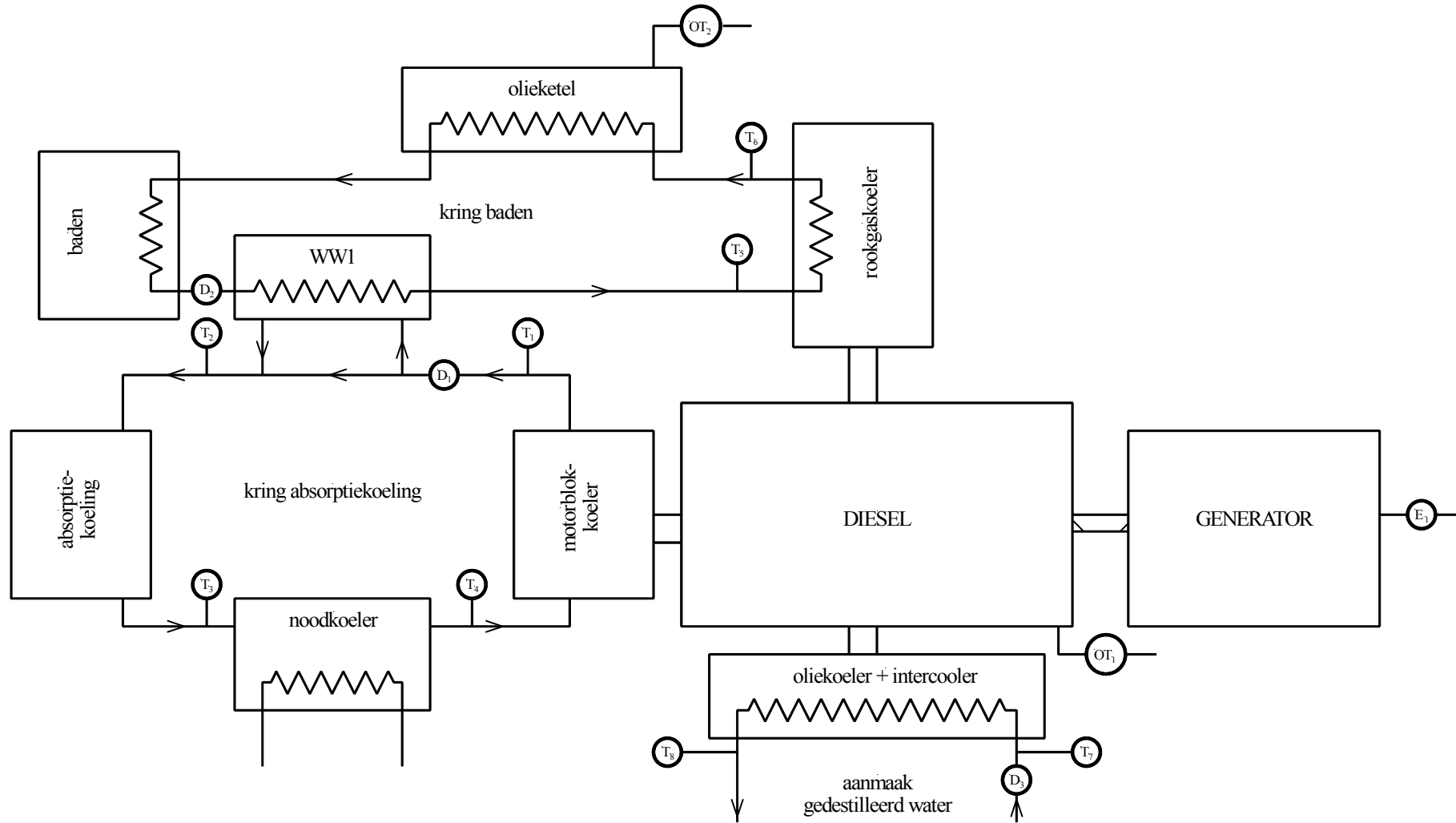
*Tabel 3.1 Verklaring symbolen*

Symbol	Verklaring
T 1	temperatuurmeting uitgang motorblokkoeling WKK
T 2	temperatuurmeting ingang absorptiekoeling
T 3	temperatuurmeting uitgang absorptiekoeling
T 4	temperatuurmeting ingang motorblokkoeling WKK
T 5	temperatuurmeting ingang rookgaskoeler WKK
T 6	temperatuurmeting uitgang rookgaskoeler WKK
T 7	temperatuurmeting ingang oliekoeler + intercooler WKK
T 8	temperatuurmeting uitgang oliekoeler + intercooler WKK
D 1	debietmeting in de kring van de absorptiekoelmachine
D 2	debietmeting in de kring van de baden
D 3	debietmeting in de kring voor de aanmaak van gedestilleerd water
OT 1	olieteller voor de meting olieverbouw van de WKK
OT 2	olieteller voor de meting olieverbouw van de verwarmingsketel
E 1	elektriciteitsmeter

Voor wat de meting van het debiet in de kring voor de aanmaak van gedestilleerd water (D3) betreft, wordt opgemerkt dat de praktijk complexer is. De debietmeter is op een zodanige manier geplaatst dat er enkel bij nuttig gebruik van deze warmte (dus voor de aanmaak van gedestilleerd water) gemeten wordt.

De meetapparatuur nodig voor de evaluatie werd bepaald door VITO. Daarnaast werd de meetapparatuur, die niet standaard door de leverancier voorzien werd, geselecteerd en aangeschaft door VITO. De plaatsing van de meetapparatuur werd uitgevoerd door de leverancier van de WKK-installatie. De gegevens worden geregistreerd via dataloggers door VITO.





Figuur 3.1: Schematisch overzicht van de energieregistratie

### 3.2 WKK-installatie

Volgende metingen worden continu uitgevoerd op de WKK-installatie:

#### *a) brandstofverbruik van de WKK-installatie*

Met de olieteller geplaatst in de toevoerleiding van de dieselmotor, wordt het gasolieverbruik opgemeten. Om de energie-input te kennen, wordt deze waarde vermenigvuldigd met de onderste verbrandingswaarde van gasolie.

#### *b) elektriciteitsproductie van de WKK-installatie*

De elektriciteitsproductie van de WKK wordt opgemeten met een door de leverancier voorziene elektriciteitsmeter. De waarden worden elk kwartier opgetekend.

#### *c) warmtelevering door de WKK-installatie*

De warmte geleverd door het motorblok wordt gemeten via de debietsmeting D1 en de temperaturen T1 en T4. De warmte geleverd door de rookgaskoeler aan de baden wordt bepaald via de debietsmeting D2 en de temperaturen T5 en T6. De nuttige warmte geleverd voor de aanmaak van gedestilleerd water wordt berekend met de debietsmeting D3 en de temperatuurmetingen T7 en T8. Het schema met betrekking tot de aanmaak van gedestilleerd water is eigenlijk complexer dan weergegeven op figuur 3.1. De debietmeter D3 werd zodanig geplaatst dat er enkel gemeten wordt indien de warmte nuttig gebruikt wordt (aanmaak gedestilleerd water), dus niet weggekoeld wordt.

Gezien de grote schommelingen in het debiet worden de metingen (debietsmeting en 2 temperatuurmetingen) in een rekenaar onmiddellijk omgezet naar energie (kWh).

### 3.3 Absorptiekoelmachine

Voor de bepaling van de warmtevraag van de absorptiekoelmachine wordt gebruik gemaakt van de debietsmeting D1 en de temperatuurmetingen T2 en T3. Indien de temperatuur T3 te hoog is, wordt warmte afgevoerd via de noodkoeler. De hoeveelheid warmte die via deze weg verdwijnt, wordt bepaald via de debietsmeting D1 en de temperaturen T3 en T4.

Om een beter idee te krijgen van het rendement van de absorptiekoelmachine, werd de COP of het rendement bepaald over een beperkte periode in april 1998. Dit gebeurde via het bijplaatsen van een ultrasoondebietsmeter en 2 temperatuursensoren in de koelkring.

### 3.4 Verwarming baden

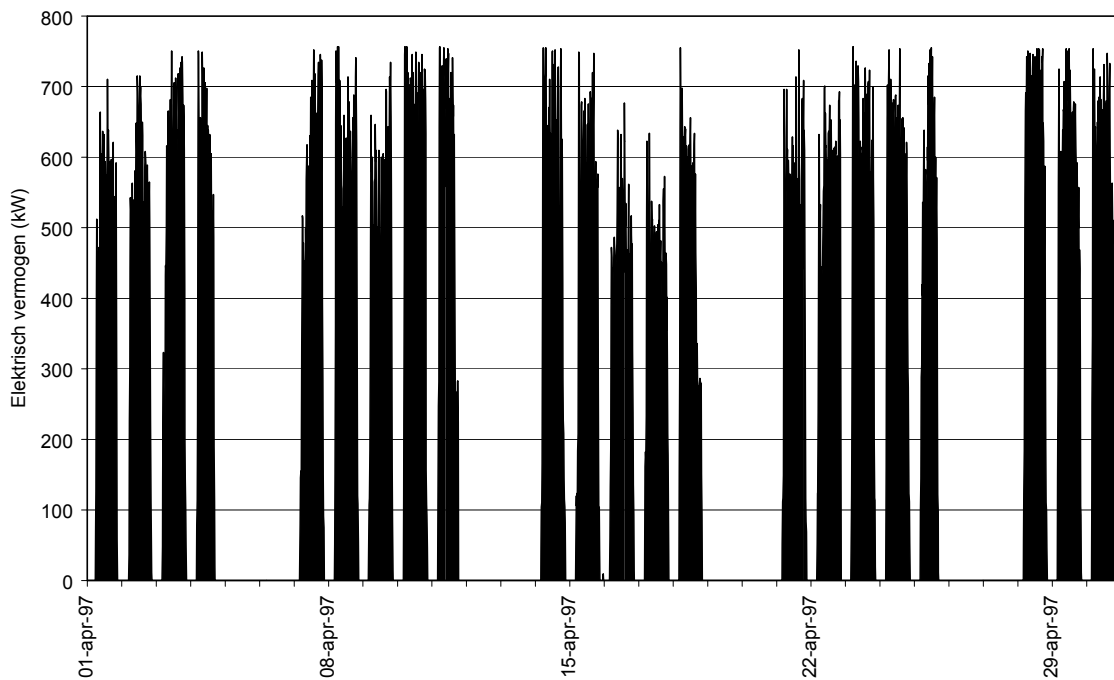
De bepaling van de energie nodig voor de verwarming van de baden gebeurt onrechtstreeks. In eerste instantie wordt het verbruik van de olietel gemeten via een olieteller, geplaatst in de toevoerleiding. De warmte geleverd door de olietel wordt bepaald uitgaande van de oliemeting en aanname van een gemiddeld rendement. De warmte uitgewisseld in warmtewisselaar 1 (WW1) wordt bepaald via debietsmeting D1 en temperatuursmeting T1 en T2. De warmte geleverd aan de baden wordt berekend door de som te maken van de

warmte geleverd door de olietel en de warmte geleverd door de rookgaskoeler en hiervan de warmte uitgewisseld in WW1 af te trekken.

## 4 TECHNISCHE EVALUATIE

### 4.1 Productie van elektrische energie met de WKK

Figuur 4.1 geeft de elektriciteitsproductie van de WKK gedurende de maand april 1997 weer.



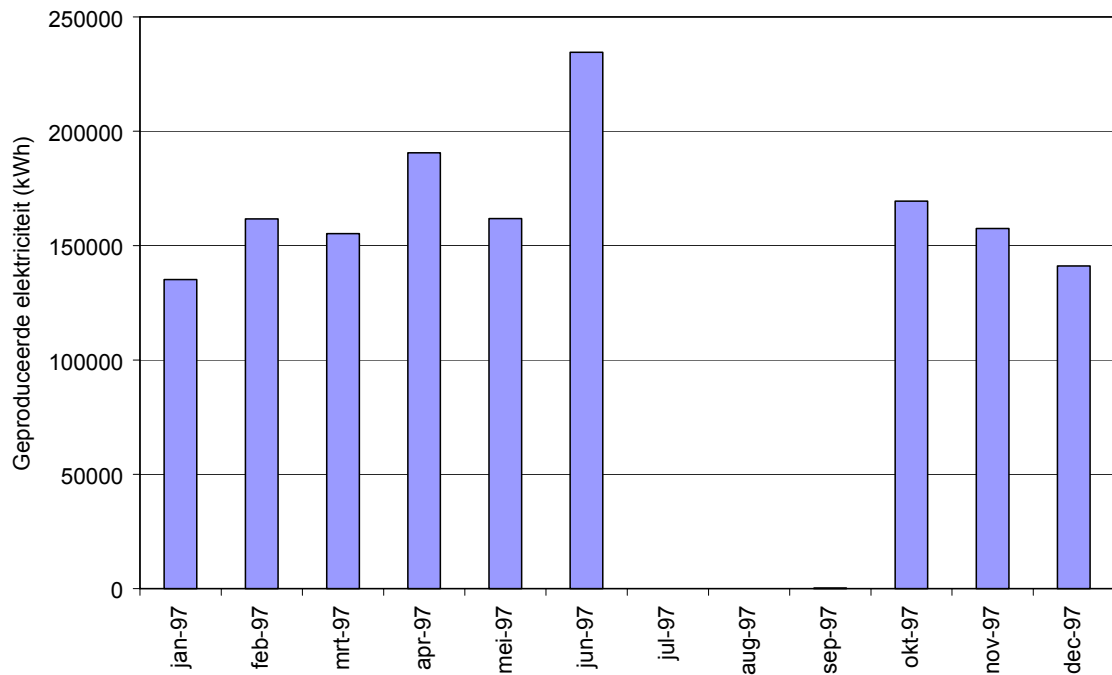
*Figuur 4.1: Elektriciteitsproductie april 1997*

In deze figuur ziet men dat de WKK-installatie gedurende de werkdagen elektriciteit produceert en in het weekend stil ligt. Meestal wordt de WKK gedurende de werkdagen opgestart rond 6:00h en stilgelegd rond 22:00h. Het geproduceerde elektrisch vermogen ligt meestal tussen 600 kWe en 750 kWe. In deze maand heeft de WKK 363 uren (zijnde 50 % van de tijd) gedraaid waarbij in totaal 191 MWh elektriciteit geproduceerd werd. Wanneer de verhouding genomen wordt van de totaal geproduceerde elektriciteit en het aantal draaiuren dan wordt een gemiddeld vermogen van 525 kW bekomen.

Figuur 4.2 geeft de totale elektriciteitsproductie op maandbasis gedurende 1997 weer. Gedurende de maanden juli, augustus en september 1997 werd geen elektriciteit geproduceerd. De reden hiervoor is een probleem met de rookgaskoeler waar langs waterzijde corrosie opgetreden was. De juiste oorzaak van het probleem kon nog niet achterhaald worden. De rookgaskoeler werd eind september 1997 vervangen. Vervolgens werden een aantal testen uitgevoerd zodat begin oktober 1997 de WKK-installatie opnieuw normaal kon draaien.

Uit deze figuur blijkt dat de elektriciteitsproductie (buiten de maanden juli, augustus en september) gelegen is tussen 135 MWh (januari '97) en 235 MWh (juni '97) per maand met een gemiddelde gelegen rond 150 MWh.

In 1997 heeft de WKK-installatie 2.785 uren (of 1.834 equivalente vollasturen) gedraaid en 1.507 MWh elektriciteit geproduceerd waarbij 398.656 liter stookolie verbruikt werd. Dit komt overeen met een gemiddeld elektrisch vermogen van 541 kW.



*Figuur 4.2: Geproduceerde elektriciteit in 1997*

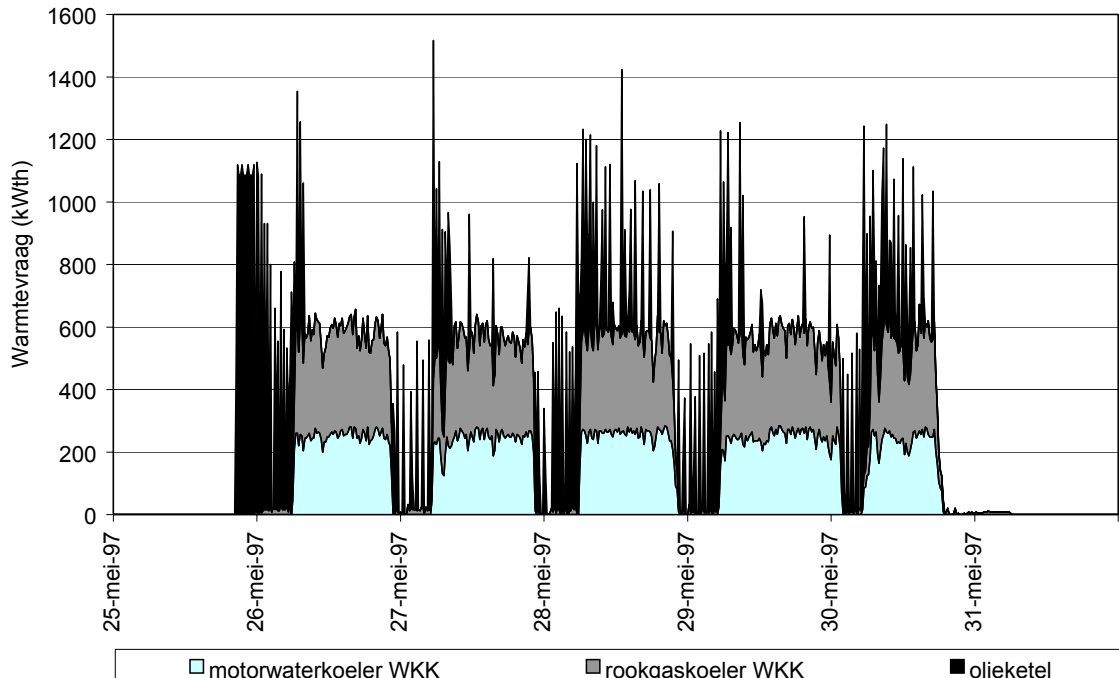
## 4.2 Warmtevraag

Voor de bepaling van de warmtevraag worden volgende veronderstellingen gemaakt:

- de olietel werkt met een globaal rendement van 85 %.
- de onderste verbrandingswaarde van de gasolie voor de ketel bedraagt 35.910 kJ/liter.
- de warmte die moet weggekoeld worden via de noodkoeler in de kring van de absorptiekoelmachine wordt in mindering gebracht met de warmte geproduceerd door de olietel (reden: wanneer de absorptiekoelmachine in werking is, volstaat soms de warmte van de motorblokkoeler niet, er dient bijverwarmd te worden via de kring van de baden. Indien de retourtemperatuur van het koelwater voor het motorblok te hoog is, wordt de noodkoeler bij ingeschakeld).

Figuur 4.3 toont de warmtevraag over een week (zondag 25/05/97 t.e.m. zaterdag 31/05/97) opgesplitst naar de producent (de WKK-installatie en de olietel). Voor de WKK werd een bijkomende onderverdeling gemaakt namelijk de warmte geleverd via de rookgaskoeler, de warmte geleverd via motorblokkoeler en de warmte geleverd via de olietel en de intercooler.

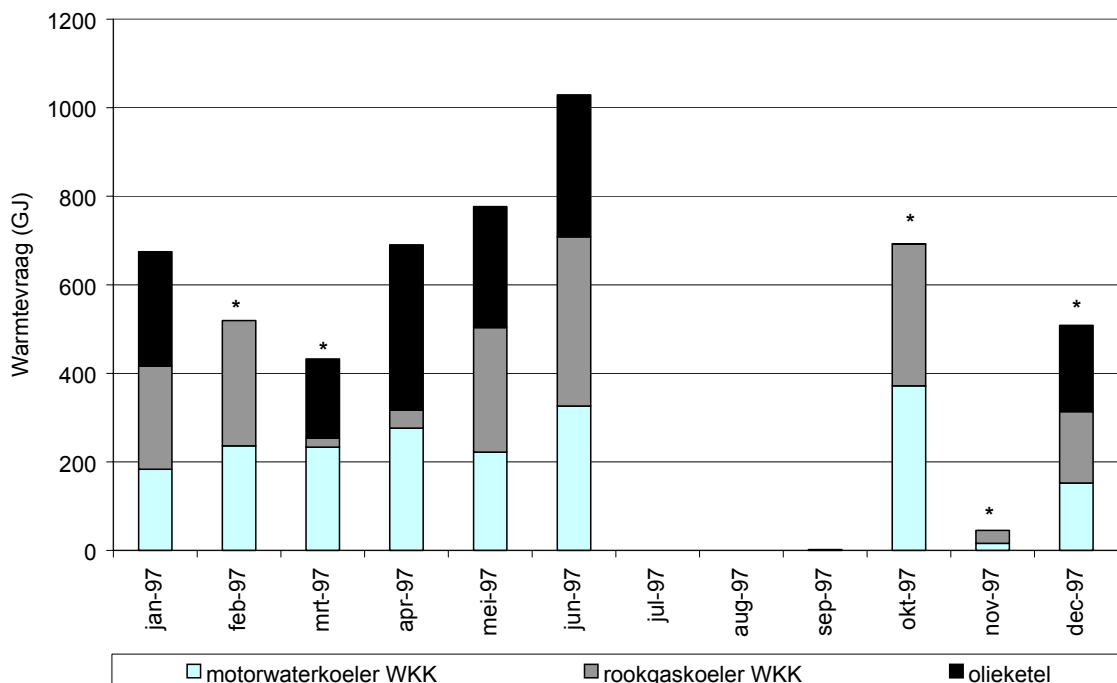
Uit de gegevens blijkt dat gedurende die week de warmte van de olietel en de intercooler volledig weggekoeld werd. De warmte werd gedurende deze periode dus niet nuttig gebruikt voor de aanmaak van gedestilleerd water. Verder blijkt dat de ketel vooral 's nachts draait en soms overdag wanneer de warmte van de WKK-installatie niet voldoende is voor het op temperatuur houden van de baden en voor de absorptiekoelmachine.



*Figuur 4.3: Warmtevraag opgesplitst naar de producent (25/05 – 31/05)*

Wanneer de WKK-installatie in werking was, werd door de motorwaterkoeler gemiddeld 210 kW en door de rookgaskoeler gemiddeld 266 kW geleverd.

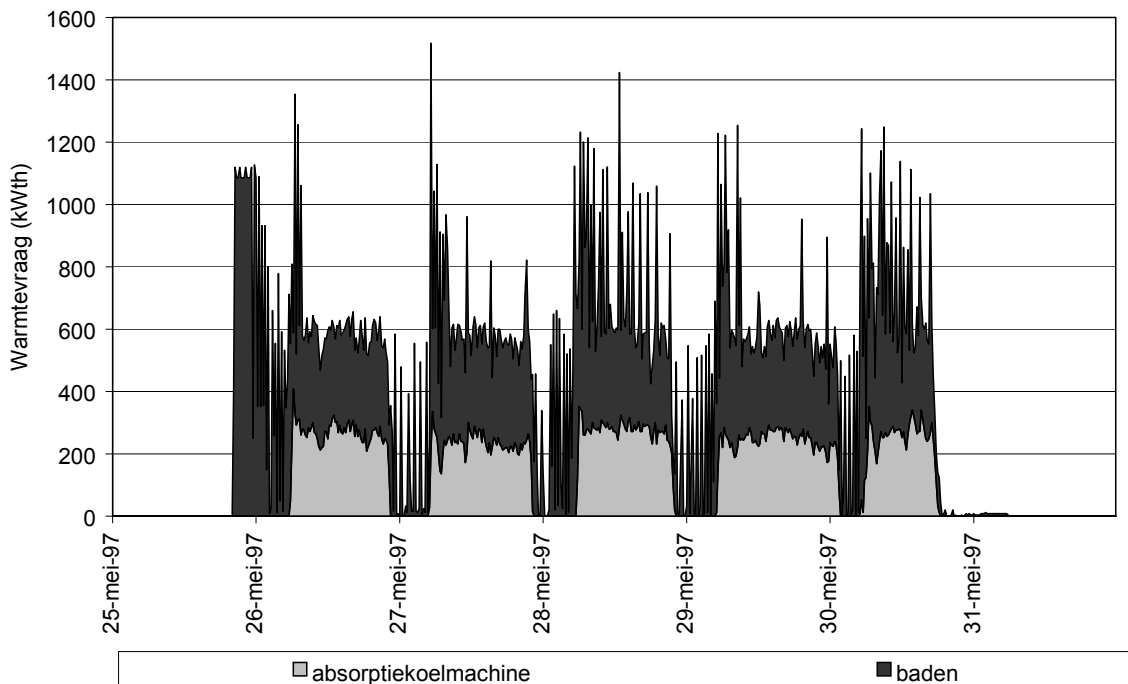
In figuur 4.4 wordt een overzicht gegeven van de warmtevraag opgesplitst naar de producent voor alle maanden in 1997. Bij de meting van de warmteproductie en de warmtevraag zijn wel een aantal problemen gerezen. Omwille van een defecte olieteller zijn er geen gegevens beschikbaar van het olieconsumptie van de ketel voor de maand februari, de maand maart (tot 9/03) en de maand oktober. Het frequent voorkomen van een defect aan de olieteller was te wijten aan het feit dat de meter sterk onderhevig was aan trillingen veroorzaakt door de oude ventilator van de olietank. Daarnaast zijn er geen gegevens van de warmtevraag en de warmteproductie beschikbaar voor de maand november en gedeeltelijk de maand december (tot 8/12) omwille van een technisch defect aan de datalogger. De maanden met onvolledige gegevens worden gemarkeerd met '\*’.



*Figuur 4.4: Warmtevraag opgesplitst naar de producent voor de meetperiode*

Uit deze figuur blijkt dat de nuttig geproduceerde warmte verschillend is van maand tot maand. Ook de totale warmtevraag over de periode 1997 is onderhevig aan schommelingen. Verder blijkt dat gedurende de maand maart en april weinig rookgaswarmte benut werd. Daarnaast blijkt dat gedurende de hele meetperiode de warmte van de olietank en de intercooler niet benut werd en afgevoerd werd via de noodkoeler. Voor de maanden januari, mei, juni en december blijkt dat de warmtevraag van de baden en de absorptiekoelmachine gemiddeld gezien voor 30 % gedekt wordt door motorwaterkoeler van de WKK, voor 35 % gedekt wordt door de rookgaskoeler van de WKK en voor 35 % gedekt wordt door de ketel. De WKK levert dus voor die betreffende maanden 65 % van de gevraagde warmte.

In figuur 4.5 wordt de warmtevraag opnieuw weergegeven over de periode van 25/05 tot en met 31/05 maar ditmaal opgesplitst naar de warmtegebruikers.



*Figuur 4.5: Warmtevraag opgesplitst naar warmteverbruikers*

Uit deze figuur blijkt dat de warmteafname van de absorptiekoelmachine vrij constant is en gelegen tussen 200 kWth en 250 kWth. De warmteafname van de baden fluctueert sterker maar ligt gemiddeld gezien tussen 300 kWth en 400 kWth. Voor die week werd 32 % van de benutte warmte gebruikt door de absorptiekoelmachine en 68 % door de baden.

Voor de maanden met volledige gegevens (uitgezonderd maart en april 1997) blijkt dat 31 % van de benutte warmte gebruikt werd door de absorptiekoelmachine en 69 % gebruikt werd voor het op temperatuur houden van de baden.

### 4.3 Rendement van de installatie

#### 4.3.1 Rendement van de WKK-installatie

In tabel 4.1 wordt het energieverbruik, de geleverde elektriciteit, de nuttig gebruikte warmte en de rendementen van de WKK-installatie weergegeven over de maanden waarvoor alle gegevens beschikbaar zijn. Voor de onderste verbrandingswaarde van de gasolie werd dezelfde waarde aangenomen als bij de berekeningen van de warmteproductie van de olietel.

Uit deze tabel blijkt dat het gemiddeld elektrische rendement van de WKK-installatie gelijk is aan 38 %. Het gemiddelde thermische rendement ligt rond 35 % met uitzondering voor de maanden maart en april (17 %) gezien de lage rookgasbenutting. Het totale rendement



bedraagt gemiddeld gezien 73 % met uitschieters naar onder (55 %) en naar boven (82 %) toe. De warmtekrachtverhouding ligt voor de meeste maanden rond 0,9. Het globale rendement en de warmtekrachtverhouding zouden hoger liggen indien naast de warmte van de motorblokkoeling en de rookgaskoeling eveneens de warmte van de oliekoeling en de intercooler nuttig zouden gebruikt worden, wat normaal voorzien was voor de aanmaak van gedestilleerd water, maar in 1997 afgevoerd werd via de noodkoeler.

*Tabel 4.1: Rendement van de WKK-installatie*

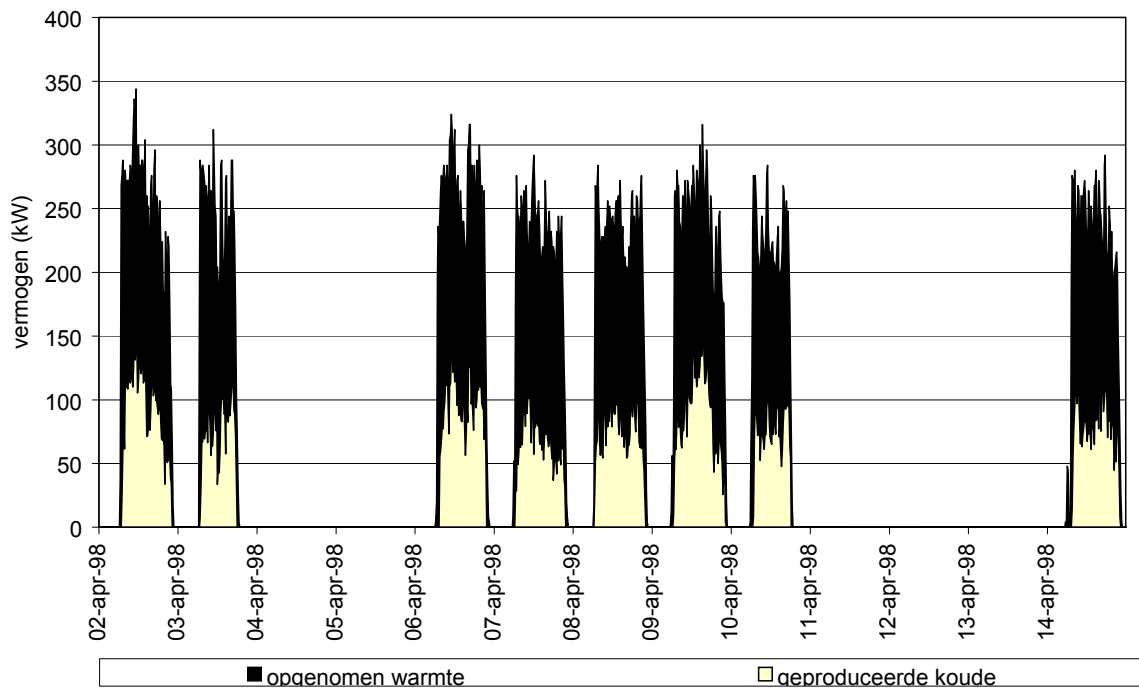
	energie verbruik WKK	geproduc. elektriciteit	benutte warmte motor	benutte warmte rookgas	elektrisch rendement	thermisch rendement	totaal rendement
	GJ	MWh	GJ	GJ	%	%	%
01/97	1.297	135	184	232	38	32	70
02/97	1.532	162	236	283	38	34	72
03/97	1.489	155	233	20	38	17	55
04/97	1.816	191	276	40	38	17	55
05/97	1.543	162	222	281	38	33	71
06/97	2.250	235	326	382	38	32	70
10/97	1.590	169	372	320	38	44	82

De rendementen weergegeven in deze tabel zijn de gemiddelde rendementen, d.w.z. dat de verhouding genomen wordt van de totaal geproduceerde elektriciteit (of warmte) over het totale verbruik in de betreffende maand. Het vollastrendement ligt hoger. Het elektrisch rendement bij vollast bijvoorbeeld ligt tussen 40 % en 41 %.

#### 4.3.2 Rendement van de absorptiekoelmachine

Voor de bepaling van de COP of het 'rendement' van de absorptiekoelmachine, werd gedurende een periode van 13 dagen (donderdag 2 april t.e.m. dinsdag 14 april 1998) de geproduceerde koeling en de opgenomen warmte opgemeten. In figuur 4.6 worden de resultaten van de metingen weergegeven.

Uit deze figuur blijkt dat de opgenomen warmte gemiddeld gezien 223 kW is en de geproduceerde koeling gemiddeld 78 kW bedraagt. Over de meetperiode van 13 dagen heeft de absorptiekoelmachine 125,25 draaiuren gemaakt, 27.905 kWh of 100 GJ warmte opgenomen en 9.734 kWh of 35 GJ koeling geleverd. Dit brengt de gemiddelde COP (verhouding geleverde koeling / opgenomen warmte) over de meetperiode van 13 dagen op 0,35 wat laag is vergeleken met gangbare waarden (0,7). De oorzaak is waarschijnlijk de lage motorwatertemperatuur (en indien er niet bijverwarmd wordt via de ketel dus ook een lage watertemperatuur naar de absorptiekoelmachine) waardoor het koelvermogen van de machine daalt (gemiddeld 78 kW<sub>koeling</sub> in plaats van 340 à 400 kW<sub>koeling</sub>).



Figuur 4.6: Geproduceerde koeling en opgenomen warmte van de absorptiekoelmachine

## **5 PRIMAIRE ENERGIEBESPARING EN VERMINDERING CO<sub>2</sub>-EMISSIE**

### **5.1 Primaire energiebesparing**

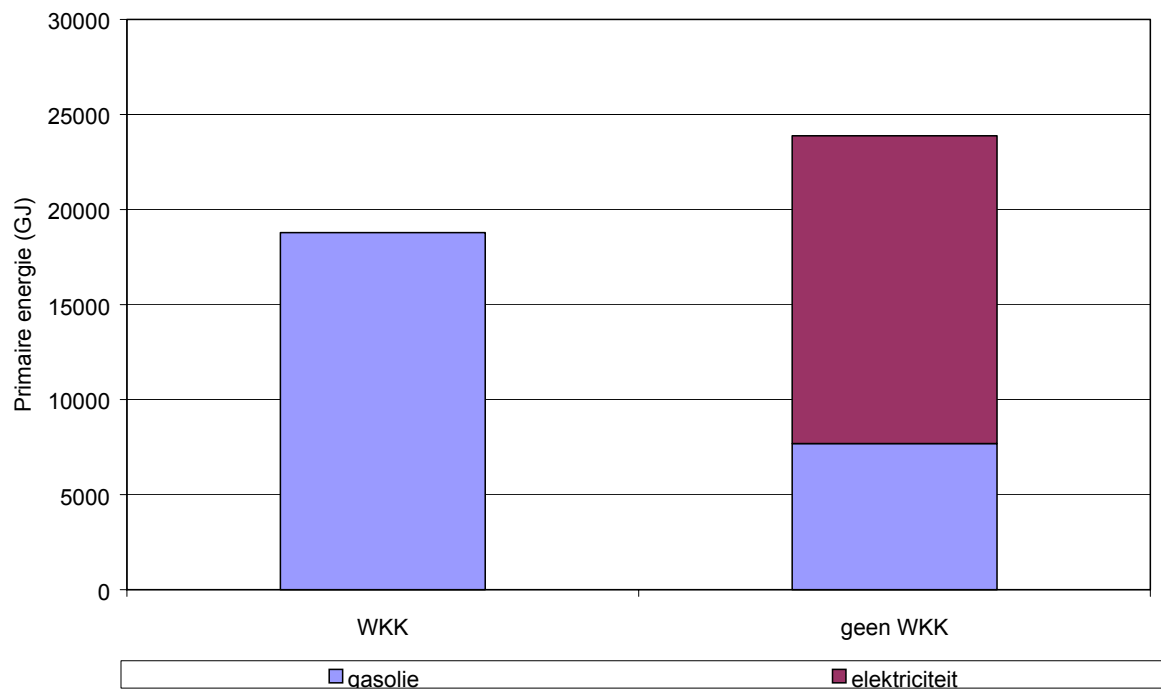
Voor de bepaling van de besparing op primaire energie worden volgende uitgangspunten genomen (eveneens gebruikt bij de economische evaluatie):

- De WKK-installatie wordt vergeleken met een referentiesituatie waarbij de elektriciteit geproduceerd wordt door een centrale en waarbij de warmte van de motor en de rookgassen geleverd wordt via een gasolieketel.
- Voor het rendement van de elektriciteitscentrale wordt 44 % aangenomen (zie bijlage II)
- Voor het globale rendement van de gasolieketel wordt 85 % verondersteld.
- Voor de maanden waarin het gebruik van de rookgaswarmte heel laag was (maart en april 1997), de maanden waarin de WKK niet gedraaid heeft omwille van problemen met de rookgaswarmtewisselaar (juli, augustus en september 1997) en de maanden waarbij de metingen onvoldoende waren omwille van een defecte datalogger (november en december 1997) wordt de gemiddelde elektrische (38 %) en thermische (35 %) rendementen van de andere maanden genomen.
- Gezien de WKK niet gedraaid heeft in de maanden juli, augustus en september 1997 omwille van technische problemen, maar normaal gezien wel had moeten draaien, wordt voor deze maanden de volgende veronderstelling gemaakt: de door de WKK geproduceerde elektriciteit is gelijk aan 16/15 van de aankoop tijdens de normale uren volgens de facturen van de betreffende maanden. Dit komt overeen met het werkingsregime (06.00h – 22.00h). Deze veronderstelling werd genomen omwille van het feit dat de elektriciteitsaankoop gedurende de betreffende maanden lager lag dan de gemiddelde maandelijkse elektriciteitsproductie gedurende de 5 volledige meetmaanden.

In figuur 5.1 wordt een overzicht gegeven van het primaire energieverbruik van de WKK en bij gescheiden opwekking (geen WKK) over de meetperiode januari tot en met december 1997.

Uit deze figuur kan afgeleid worden dat het primair energieverbruik van de WKK gelijk is aan 18.778 GJ/jaar. Het primair energieverbruik bij gescheiden opwekking bedraagt 23.879 GJ/jaar (elektriciteit: 16.188 GJ/jaar en olietel: 7.691 GJ/jaar).

De besparing op primair energieverbruik bedraagt dus 5.101 GJ/jaar of 21 % t.o.v. gescheiden opwekking.



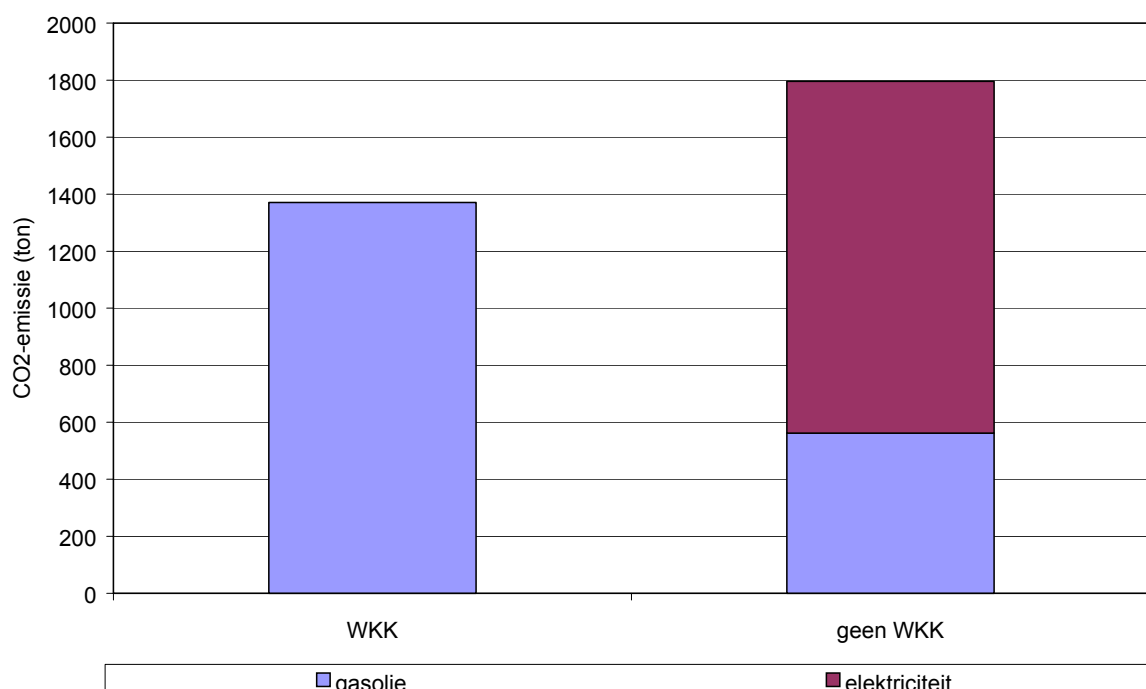
*Figuur 5.1: Primair energieverbruik over de maand januari 1997*

## 5.2 Vermindering CO<sub>2</sub>-emissie

Voor de bepaling van de reductie op CO<sub>2</sub>-emissie worden naast de veronderstellingen gemaakt bij de bepaling van de besparingen op primaire energie, de volgende aannames gedaan:

- De CO<sub>2</sub>-emissie voor de productie van elektriciteit in een centrale bedraagt 624 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub> (zie bijlage II).
- De CO<sub>2</sub>-emissie van gasolie bedraagt 73 g CO<sub>2</sub>/MJ.

Figuur 5.2 toont de CO<sub>2</sub>-emissie van de WKK en bij gescheiden opwekking (geen WKK) rekening houdend met de aannames.



*Figuur 5.2: CO<sub>2</sub>-emissie met en zonder WKK over de meetperiode 1997*

Uit deze figuur blijkt dat de CO<sub>2</sub>-emissie van de WKK gelijk is aan 1.371 ton/jaar voor de meetperiode 1997. Indien geen WKK zou geplaatst zijn (dus gescheiden productie van warmte en elektriciteit), zou de uitstoot van CO<sub>2</sub> gelijk zijn aan 1.796 ton/jaar waarvan 1.235 ton/jaar voor de productie van elektriciteit in de centrale en 561 ton/jaar voor de productie van de warmte via de olietel.

De reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie over de meetperiode 1997 bedraagt 425 ton/jaar ofwel 24 % ten opzichte van de referentiesituatie en rekening houdend met de aannames.

## 6 ECONOMISCHE EVALUATIE

De rendabiliteit van het project wordt berekend door het relateren van de kosten aan de baten van het project. Tabel 6.1 geeft de kosten/baten balans weer. Alle bedragen in dit hoofdstuk zijn exclusief B.T.W.

*Tabel 6.1 Kosten/baten balans*

KOSTEN	BATEN
INVESTERINGSKOSTEN	BESPARING OP DE ENERGIEREKENING
ONDERHOUDSKOSTEN	Energierekening met WKK Aankoop gasolie Aankoop elektriciteit ↔ Energierekening zonder WKK Aankoop gasolie Aankoop elektriciteit SUBSIDIE

Gedurende de maanden juli, augustus en september was de WKK buiten bedrijf; de rendabiliteit wordt berekend zowel voor de situatie met een normaal werkingsregime (geen uitval), als voor de werkelijke situatie (waarden tussen haakjes).

### 6.1 Investerings- en onderhoudskosten

De investering in de WKK-groep (turnkey installatie) bedraagt 15,3 MBEF. Met inbegrip van een subsidie van 35% bedraagt deze 10,0 MBEF. De onderhoudskosten worden gerekend aan 0,19 BEF/kWh. Bij een productie van nagenoeg 2 GWh (1,5 GWh) geeft dit een onderhoudskosten van 0,4 MBEF (0,3 MBEF).

### 6.2 Energiekostenbesparing

In tabel 6.2 worden de energiekosten van beide situaties, “geen WKK” versus “WKK” met elkaar vergeleken. Hierbij wordt vertrokken van volgende uitgangspunten:

- De elektriciteitsproductie van de WKK wordt voor 15/16 geproduceerd tijdens de normale uren, het overige tijdens de stille uren. Deze aanname is in overeenstemming met het werkingsregime (06.00-22.00).
- De elektriciteitsvraag bestaat uit de productie van de WKK en de supplementaire aankoop. Voor de maanden tijdens dewelke de WKK stillag (juli, augustus en september) wordt voor de situatie met een normaal werkingsregime een fictieve productie verondersteld gelijk aan 16/15 van de aankoop tijdens de normale uren.
- Het elektrisch rendement van de WKK bedraagt 38% (constant voor de 5 volledige meetmaanden).

- Het thermisch rendement bedraagt 35% (gemiddelde over de 5 volledige meetmaanden).

*Tabel 6.2: Energiekostenbesparing (MBEF)*

	Geen WKK	WKK
Aankoop brandstof WKK	-	3,5 (2,7)
Aankoop brandstof ketel	1,4 (1,1)	-
Aankoop elektriciteit	8,3	1,1 (2,5)
Totaal	9,7 (9,4)	4,6 (5,2)
Besparing	-	5,1 (4,2)

#### Aankoop brandstof

Het gasolieverbruik van de WKK bedraagt 522.915 liter (398.576 liter). De gemiddelde prijs gedurende 1997 bedroeg 6,66 BEF. De gerecupereerde warmte bedroeg 6.537 GJ (4.975 GJ). Bij een ketelrendement van 85% betekent dit een vermeden aankoop van 214.168 liter (162.969 liter) gasolie tegen dezelfde gemiddelde prijs.

#### Aankoop elektriciteit

De elektriciteitsaankoop in de situatie "WKK" bestaat uit de factuurbedragen voor 1997 (exclusief reactief verbruik en meterhuur). Voor de maanden juli, augustus en september werd voor de situatie met een normaal werkingsregime het factuurbedrag gesimuleerd. Het toegepast tarief is het uurseizoenstarief. Voor de simulatie van de elektriciteitsaankoop in de situatie "geen WKK" werd uitgegaan van het nieuwe tarief A (drijfkracht). Het in rekening gebracht vermogen is het gemiddelde van de maanden waarin de WKK stillag.

### 6.3 Rendabiliteit

In tabel 6.3 wordt een overzicht gegeven van de rendabiliteit. De terugverdientijd bedraagt 3,3 (3,9) jaar, exclusief subsidie. Inclusief de subsidie bedraagt deze 2,1 (2,6) jaar.

*Tabel 6.3: Rendabiliteit*

Energiekostenbesparing (MBEF)	5,1 (4,2)
Onderhoudskosten (MBEF)	0,4 (0,3)
Netto jaarlijkse opbrengst (MBEF)	4,7 (3,9)
Investeringskost (voor subsidie) (MBEF)	15,3
Investeringskost (na subsidie) (MBEF)	10,0
TVT (voor subsidie) (jaar)	3,3 (3,9)
TVT (na subsidie) (jaar)	2,1 (2,6)

## 7 BESLUIT

Gedurende de meetperiode (januari – december 1997) heeft de WKK-installatie 2.785 uren (of 1.834 equivalente vollasturen) gedraaid waarbij 398.656 liter gasolie verbruikt werd en 1.507 MWh elektriciteit geproduceerd werd. Dit komt overeen met een gemiddeld elektrisch vermogen van 541 kW. Het lage aantal draaiuren is te wijten aan een probleem met de rookgaskoeler, waardoor de installatie stilgelegen heeft gedurende de maanden juli, augustus en september 1997. Na vervanging van deze koeler kon de installatie opnieuw in gebruik genomen worden begin oktober 1997.

In de normale meetmaanden (maanden met normale werking van de installatie en zonder meettechnische problemen) wordt de warmtevraag van de baden en de absorptiekoelmachine gemiddeld gezien voor 30 % gedekt door de motorwaterkoeler van de WKK, voor 35 % gedekt door de rookgaskoeler van de WKK en voor 35 % gedekt door de olietel. De WKK levert dus voor die betreffende maanden 65 % van de gevraagde warmte. Verder wordt (in de normale meetmaanden) 31 % van de benutte warmte gebruikt door de absorptiekoelmachine en 69 % voor het op temperatuur houden van de baden.

Het gemiddeld elektrische rendement van de WKK-installatie is gelegen rond 38 % en het gemiddelde thermische rendement is gelegen rond 35 % wat het totaal rendement op 73 % brengt. De warmtekrachtverhouding ligt voor de meeste maanden rond 0,9. Het elektrisch rendement bij vollast ligt tussen 40 % en 41 %. Het globale rendement en de warmtekrachtverhouding zouden hoger liggen indien naast de warmte van de motorblokkkoeling en de rookgaskoeling eveneens de warmte van de oliekoeling en de intercooler nuttig zouden gebruikt worden, wat normaal voorzien was voor de aanmaak van gedestilleerd water.

Gedurende 13 dagen in april 1998 werd de COP van de absorptiekoelmachine gemeten en werd een gemiddelde waarde van 0,35 bekomen wat laag is vergeleken met gangbare waarden (rond 0,7). De oorzaak is waarschijnlijk de lage motorwatertemperatuur waardoor het koelvermogen van de machine daalt (gemiddeld  $78 \text{ kW}_{\text{koeling}}$  in plaats van 340 à 400  $\text{kW}_{\text{koeling}}$ ).

Voor de bepaling van de primaire energiebesparing en de reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie werd uitgaande van de gegevens van de normale meetmaanden een extrapolatie gemaakt voor de andere maanden (ook voor de maanden met volledige stilstand).

Het primair energieverbruik van de WKK installatie is dan gelijk aan 18.778 GJ/jaar. Het primair energieverbruik bij gescheiden opwekking bedraagt 23.879 GJ/jaar. De besparing op primair energieverbruik bedraagt dus 5.101 GJ/jaar of 21 % t.o.v. de referentiesituatie. De CO<sub>2</sub>-emissie van de WKK is gelijk aan 1.371 ton/jaar voor de meetperiode 1997. Bij gescheiden productie, zou de uitstoot van CO<sub>2</sub> gelijk zijn aan 1.796 ton/jaar. De reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie over de meetperiode bedraagt 425 ton/jaar ofwel 24 % ten opzichte van de referentiesituatie.

Voor de economische evaluatie werd dezelfde extrapolatie gemaakt als bij de bepaling van de primaire energiebesparing. De jaarlijkse energiekostenbesparing bedraagt dan 5,1 MBEF en de onderhoudskosten 0,4 MBEF/jaar wat de jaarlijkse netto opbrengst van het WKK-project op 4,7 MBEF brengt. Zonder rekening te houden met subsidies, bedragen de investeringskosten van de WKK 15,3 MBEF en wordt de installatie terugbetaald op 3,3 jaar. Indien het jaar 1997, inbegrepen de stilstandperiode als referentie genomen wordt, dan is de terugverdientijd 3,9 jaar.



BIJLAGE I: Elektriciteits- en nuttige warmteproductie WKK en nuttige warmteproductie olietel

	WKK Brandstof- gebruik	WKK Elektriciteits- productie	WKK Nuttige warmte Motorwaterk.	WKK Nuttige warmte Rookgask.	WKK Draaitijd	Olietel Nuttige warmte Olietel
	GJ	MWh	GJ	GJ	uren	GJ
jan-97	<b>1297</b>	<b>135</b>	<b>184</b>	<b>232</b>	<b>259</b>	<b>71788</b>
feb-97	<b>1532</b>	<b>162</b>	<b>236</b>	<b>283</b>	<b>286</b>	<b>8</b>
mrt-97	<b>1489</b>	<b>155</b>	<b>233</b>	<b>20</b>	<b>304</b>	<b>49762</b>
apr-97	<b>1816</b>	<b>191</b>	<b>276</b>	<b>40</b>	<b>363</b>	<b>103738</b>
mei-97	<b>1543</b>	<b>162</b>	<b>222</b>	<b>281</b>	<b>294</b>	<b>75987</b>
jun-97	<b>2250</b>	<b>235</b>	<b>326</b>	<b>382</b>	<b>405</b>	<b>89061</b>
jul-97	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
aug-97	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
sep-97	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
okt-97	<b>1590</b>	<b>169</b>	<b>372</b>	<b>320</b>	<b>313</b>	<b>85</b>
nov-97	<b>1474</b>	<b>158</b>	<b>16</b>	<b>29</b>	<b>300</b>	<b>0</b>
dec-97	<b>1321</b>	<b>141</b>	<b>152</b>	<b>161</b>	<b>257</b>	<b>54111</b>
<b>totaal</b>	<b>14312</b>	<b>1507</b>	<b>2018</b>	<b>1750</b>	<b>2780</b>	<b>444540</b>

Gegevens van maanden met onvolledige metingen werden schuin en niet vet weergegeven

## BIJLAGE II: RENDEMENT EN CO<sub>2</sub>-EMISSIEFACTOR ELEKTRICITEITSPARK

De afleiding van de gehanteerde CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-emissiefactor van 962 g/kWh<sub>el</sub>.
- Voor aardgas wordt verondersteld dat in 2000 het conversierendement gemiddeld 48 % bedraagt, wat leidt tot een CO<sub>2</sub>-emissie van de elektriciteitsproductie met deze primaire energievorm van 420 g/kWh<sub>el</sub>.

Het rendement en de CO<sub>2</sub>-emissiefactor worden dan als volgt bepaald:

- rendement:  $(0,159*36,5+0,264*48)/(0,159+0,264) = 44 \%$
- CO<sub>2</sub>-factor:  $(0,159*962+0,264*420)/(0,159+0,264) = 624 \text{ g/kWh}$ .

## BIJLAGE III: Primaire energiebesparing en reductie van de CO2-emissie

	Primaire energie WKK	Primaire energie geen WKK	Primaire energie besparing	CO2- emissie WKK	CO2- emissie geen WKK	CO2- emissie reductie
	GJ	GJ	GJ	ton	ton	ton
jan-97	<b>1297</b>	<b>1595</b>	<b>298</b>	<b>95</b>	<b>120</b>	<b>25</b>
feb-97	<b>1532</b>	<b>1934</b>	<b>402</b>	<b>112</b>	<b>145</b>	<b>34</b>
mrt-97	1489	1883	394	109	142	33
apr-97	1816	2307	491	133	174	41
mei-97	<b>1543</b>	<b>1916</b>	<b>373</b>	<b>113</b>	<b>144</b>	<b>32</b>
jun-97	<b>2250</b>	<b>2753</b>	<b>502</b>	<b>164</b>	<b>207</b>	<b>43</b>
jul-97	1592	2030	438	116	153	36
aug-97	1270	1620	350	93	122	29
sep-97	1604	2046	442	117	154	37
okt-97	<b>1590</b>	<b>2201</b>	<b>611</b>	<b>116</b>	<b>165</b>	<b>49</b>
nov-97	1474	1896	422	108	143	35
dec-97	1321	1699	377	96	128	31
<b>totaal</b>	<b>18778</b>	<b>23879</b>	<b>5101</b>	<b>1371</b>	<b>1796</b>	<b>425</b>

Maanden met geëxtrapoleerde gegevens werden schuin en niet in vet weergegeven

**REFERENTIES**

1. P. Bulteel en F. Vandenberghe, Elektriciteitsproductie en CO<sub>2</sub>-emissies, Informatiedag CO<sub>2</sub>, Laborelec, Lindebeek, mei 1993.