

WARMTE KRACHT KOPPELING

1. Inleiding

Warmte Kracht Koppeling (WKK) is het gecombineerd genereren van warmte, meestal onder de vorm van stoom, en kracht meestal onder de vorm van elektriciteit.

Dit is over het algemeen energetisch efficiënter dan conventionele gescheiden opwekking. Het plaatsen van een WKK-installatie wordt dan ook als een energiebesparingsoptie gezien en in de benchmarkstudie aldus verrekend. De rendementen van elektriciteit- en warmteopwekking in de WKK-installatie zijn dus van belang voor de bepaling van de energie-efficiëntie van het gehele bedrijf.

Bijlage 1, §4 van het benchmarkingconvenant stelt:

“Het toepassen van kwaliteits-WKK leidt tot energiebesparing die mee mag verrekend worden in het benchmarkproces. Dit gebeurt op directe wijze door de rendementen van de WKK-installatie, of van de algemene energievoorziening waarvan de WKK deel uitmaakt, te gebruiken in de omrekening van de secundaire energiedragers warmte en elektriciteit naar primaire energie. Indien geen gegevens van WKK in de referentiebedrijven kunnen getoond worden, mag ook geen WKK-voordeel verrekend worden in het eigen bedrijf.”

Deze toelichting beschrijft hoe de terugrekenrendementen van de WKK bepaald worden.

Toelichtingen op het Convenant Benchmarking energie efficiëntie hebben het doel de lezer op de hoogte te brengen van een actuele visie op de interpretatie van convenantclausules. Daarbij wordt rekening gehouden met uitspraken van de Commissie Benchmarking en met recente verificatiepraktijk. De teksten zullen worden aangepast naar aanleiding van voortschrijdend inzicht en ervaring.

2. Definities

- **Elektrisch rendement van een WKK** : (α_E) verhouding tussen hoeveelheid elektriciteit E in GJ gegenereerd uit B GJ brandstoftoevoer naar WKK :

$$\alpha_E = E/B$$

- **Warmte rendement van een WKK** : (α_W) verhouding tussen hoeveelheid warmte W in GJ gegenereerd uit B GJ brandstoftoevoer naar WKK :

$$\alpha_W = W/B$$

- **Exergie** : maat voor de nuttige arbeid die uit een brandstof of uit een energiestroom kan gehaald worden
- **Exergetisch rendement van een WKK** : (α_{EX}) rendement gebaseerd op de exergieberekening. De formule is :

$$\alpha_{EX} = \alpha_E + \alpha_W * C_f, \quad (1)$$

waarbij C_f de Carnotfactor is.

- **Carnotfactor** : (C_f) de Carnotfactor geeft aan hoeveel warmte in nuttige arbeid kan omgezet worden bij een (ideaal) kringproces van Carnot. Men berekent de Carnotfactor met de formule :

$$C_f = \left(1 - \frac{T_o}{T_s}\right) \quad (2)$$

waarbij : **T_o (K)** : omgevingstemperatuur waarbij het kringproces verloopt. De WKK-werkgroep heeft beslist voor T_o de waarde 15 °C of 288 K te nemen.

T_s (K) : temperatuur waarop de warmte uit de WKK afgeleverd wordt. Meestal is dit dus de stoomtemperatuur.

Toelichtingen op het Convenant Benchmarking energie efficiëntie hebben het doel de lezer op de hoogte te brengen van een actuele visie op de interpretatie van convenantclausules. Daarbij wordt rekening gehouden met uitspraken van de Commissie Benchmarking en met recente verificatiepraktijk. De teksten zullen worden aangepast naar aanleiding van voortschrijdend inzicht en ervaring.

3. Algemene principes

3.1. De exergie-inhoud van de outputstromen

van een WKK-installatie (elektriciteit, stoom en rookgassen) wordt als verdeelsleutel gebruikt voor de toewijzing van de primaire brandstof aan die outputstromen.

3.2. Solomon

De voor de petroleumraffinaderijen gebruikte methode van consultant Solomon, die door het VBBV reeds werd goedgekeurd, mag onverkort behouden blijven.

3.3. Carnot-factor

Voor de berekening van de Carnot-factor, bij toepassing van de exergie methode, wordt als gemiddelde omgevingstemperatuur 15°C gebruikt.

3.4. De verrekening van het WKK-voordeel via de terugrekenrendementen

Door gebruik van de exergie-inhoud van de outputstromen als verdeelsleutel van de primaire brandstof, kan bepaald worden wat het primair aandeel is van een outputstroom tot de totale hoeveelheid primaire brandstof. In een volgende stap kan dan bepaald worden wat het rendement is van deze outputstroom. Deze rendementen zijn de terugrekenrendementen van de WKK die gebruikt worden voor het verrekenen van het WKK-voordeel.

Toelichtingen op het Convenant Benchmarking energie efficiëntie hebben het doel de lezer op de hoogte te brengen van een actuele visie op de interpretatie van convenantclausules. Daarbij wordt rekening gehouden met uitspraken van de Commissie Benchmarking en met recente verificatiepraktijk. De teksten zullen worden aangepast naar aanleiding van voortschrijdend inzicht en ervaring.

4. Verrekenen van het WKK-voordeel: bepaling van de terugrekenrendementen.

4.1. Berekening exergetisch rendement

Het exergetisch rendement wordt berekend met de formule (1) aangegeven in 3, namelijk

$$\alpha_{EX} = \alpha_E + \alpha_W * C_f \quad (1)$$

en

$$C_f = \left(1 - \frac{T_o}{T_s}\right) \quad (2)$$

Daarna berekenen we :

X : het toegewezen deel van de primaire brandstof aan de elektriciteit

Y : het toegewezen deel van de primaire brandstof aan de warmte

met de formules :

$$X = \frac{\alpha_E}{\alpha_{EX}} B \quad (3)$$

en

$$Y = B - X = \frac{\alpha_W \left(1 - \frac{T_o}{T_s}\right)}{\alpha_{EX}} B \quad (4)$$

4.2. Terugrekenrendementen van de WKK: de verrekening van het WKK-voordeel

Deze WKK's mogen het voordeel, dat bestaat uit een minder verbruik van primaire energie ten opzichte van gescheiden opwekking aan warmte en elektriciteit, mee verrekenen.

De te gebruiken terugrekenrendementen naar primaire energie zijn deze van de WKK en kunnen dus verschillen van deze voor gescheiden opwekking (40% voor elektriciteit en 90% voor warmte).

De onderlinge verdeling van de gebruikte brandstof tussen elektriciteit en warmte en in het algemeen de toewijzing van de gebruikte brandstof aan de outputstromen van de WKK gebeurt op basis van exergie, meer bepaald op basis van de exergie-inhoud van de afzonderlijke stromen.

Dit is ook de regel wanneer meerdere warmtestromen uit één WKK-installatie benut worden, b.v. twee stromen stoom op verschillende temperatuur en een warmwaterstroom.

Toelichtingen op het Convenant Benchmarking energie efficiëntie hebben het doel de lezer op de hoogte te brengen van een actuele visie op de interpretatie van convenantclausules. Daarbij wordt rekening gehouden met uitspraken van de Commissie Benchmarking en met recente verificatiepraktijk. De teksten zullen worden aangepast naar aanleiding van voortschrijdend inzicht en ervaring.

Na verdeling van de primaire brandstof tussen de elektriciteit en warmtestromen kunnen de terugrekenrendementen bepaald worden:

η_E : het terugrekenrendement voor elektriciteit

η_W : het terugrekenrendement voor warmte

met de formules:

$$\eta_E = \frac{E}{X} \quad (5)$$

en

$$\eta_W = \frac{W}{Y} \quad (6)$$

4.3. Verrekenen van het voordeel van een geïntegreerde WKK bij afname van één van de outputstromen door meer dan één afnemer .

Een vestiging die aangeduid wordt als de gebruiker van het saldo elektriciteit van een WKK, mag voor de terugrekening van het primair energieverbruik hetzelfde terugrekenrendement η_E verrekenen horende bij deze WKK.

Hetzelfde geldt voor de warmte (verrekenen met terugrekenrendement η_W).

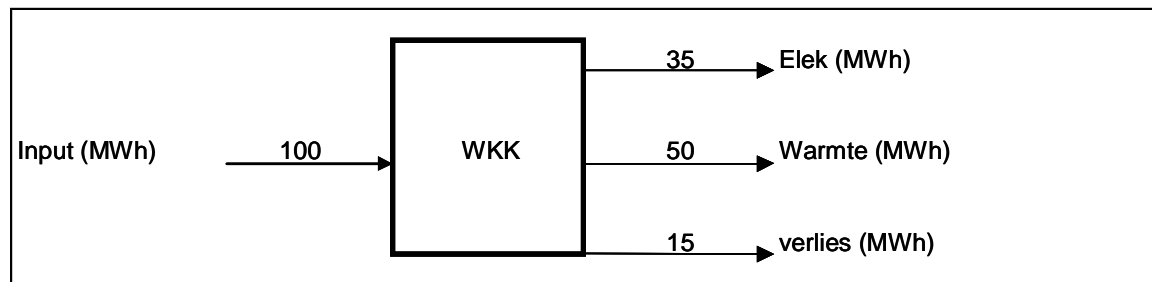
Toelichtingen op het Convenant Benchmarking energie efficiëntie hebben het doel de lezer op de hoogte te brengen van een actuele visie op de interpretatie van convenantclausules. Daarbij wordt rekening gehouden met uitspraken van de Commissie Benchmarking en met recente verificatiepraktijk. De teksten zullen worden aangepast naar aanleiding van voortschrijdend inzicht en ervaring.

5. Cijfervoorbeeld

5.1. Berekening exergetisch rendement en toewijzing van de primaire brandstofinput

De berekening verloopt zoals beschreven in 4.1.

Als voorbeeld wordt de WKK genomen zoals voorgesteld in figuur 2, waarbij stoom geproduceerd wordt op 200 °C, zodat $T_s = 200$ °C. Per definitie is $T_o = 15$ °C.



Figuur 2: Voorbeeld WKK, schematisch

$$\alpha_E = \text{elektrisch rendement van de WKK} = E/B = 35/100 = 0,35$$

$$\alpha_W = \text{warmte rendement van de WKK} = W/B = 50/100 = 0,50$$

$$C_f = \text{Carnofactor} = \left(1 - \frac{15 + 273,15}{200 + 273,15} \right) = 0,391 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \alpha_{EX} &= \alpha_E + \alpha_W * C_f \\ &= 0,35 + 0,50 * 0,391 = 0,5455 \end{aligned} \quad (1)$$

X = toegewezen deel van de primaire brandstofinput aan de elektriciteit

$$X = \frac{0,35}{0,5455} * B = 0,6416 * 100 = 64,16 MWh \quad (3)$$

Y = toegewezen deel van de primaire brandstofinput aan de warmte

$$Y = \frac{0,5 * 0,391}{0,5455} * B = 0,3584 * 100 = 35,84 MWh \quad (4)$$

$$= B - X = 100 - 64,16 = 35,84 MWh$$

X = 64,16 d.w.z 64% van de brandstofinput wordt toegewezen aan de elektriciteit

Y = 35,84 d.w.z 36% van de brandstofinput wordt toegewezen aan de warmte

Toelichtingen op het Convenant Benchmarking energie efficiëntie hebben het doel de lezer op de hoogte te brengen van een actuele visie op de interpretatie van convenantclausules. Daarbij wordt rekening gehouden met uitspraken van de Commissie Benchmarking en met recente verificatiepraktijk. De teksten zullen worden aangepast naar aanleiding van voortschrijdend inzicht en ervaring.

5.2. Berekening van de terugrekenrendementen van de WKK

We gaan na welke de terugrekenrendementen zijn in het cijfervoorbeeld. Aangezien $X = 64,16$ MWh en $Y = 35,84$ MWh wordt 64 % van de brandstof toegekend aan elektriciteit en 36 % aan warmte.

Dit levert volgende terugrekenrendementen op:

- voor elektriciteit bedraagt het terugrekenrendement naar primaire energie
 $35 / 64,16 = 54,5\%$

$$\eta_E = \frac{E}{X} = \frac{35}{64,16} = 0,545 \quad (5)$$

- voor warmte bedraagt het terugrekenrendement naar primaire energie
 $50 / 35,84 = 139,5\%$.

$$\eta_W = \frac{W}{Y} = \frac{50}{35,84} = 1,395 \quad (6)$$

Exergie methode (elek en warmte die in arbeid omgezet kunnen worden)				
Omgevingstemperatuur, T_o	15	°C	288	K
Stoomtemperatuur, T_s	200	°C	473	K
Carnot-factor, $1 - T_o/T_s$	0.39			
exergetisch rendement WKK	55%	(elek rend WKK + (carnot * warmte rend WKK))		
= rendement elek	55%			
gealloceerde brandstof aan elek	64 MWh			
gealloceerde brandstof aan warmte	36 MWh			
rendement warmte	139%			

Figuur 3: Berekening van de terugrekenrendementen

Indien een installatie dus 100 MWh elektriciteit afneemt van deze WKK, zal het teruggerekende primair energieverbruik van deze installatie $100 / 0,545 = 183$ MWh zijn. Een installatie die 100 MWh warmte afneemt van deze WKK, zal een teruggerekend primair energieverbruik hebben van $100 / 1,395 = 72$ MWh.

Toelichtingen op het Convenant Benchmarking energie efficiëntie hebben het doel de lezer op de hoogte te brengen van een actuele visie op de interpretatie van convenantclausules. Daarbij wordt rekening gehouden met uitspraken van de Commissie Benchmarking en met recente verificatiepraktijk. De teksten zullen worden aangepast naar aanleiding van voortschrijdend inzicht en ervaring.