

## **Bijlage I : WKK ALS ALTERNATIEVE MAATREGEL**

### **1. Inleiding**

Het plaatsen van een WKK-installatie is een energiebesparingsoptie die zowel op Europees als Vlaams niveau gestimuleerd wordt. De extra primaire energiebesparingen gerealiseerd door niet in de benchmark geïntegreerde WKK's kan in rekening gebracht worden als alternatieve maatregel.

In essentie wordt de WKK van het benchmarking bedrijf vergeleken met een norm-WKK, zijnde een WKK die 10% RPEB realiseert t.o.v. gescheiden opwekking. De primaire energie die de bedrijfseigen WKK extra bespaart t.o.v. de norm-WKK kan in rekening gebracht worden ter compensatie van de resterende ATW in 2012.

### **2. Gebruikte definities**

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

$$\alpha_E = E/B$$

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

$$\alpha_W = W/B$$

- **X**: het brandstofverbruik van de WKK toegewezen aan elektriciteit
- **X<sub>REF</sub>**: het brandstofverbruik toegewezen aan elektriciteit bij gescheiden opwekking
- **Y**: het brandstofverbruik van de WKK toegewezen aan warmteproductie
- **Y<sub>REF</sub>**: het brandstofverbruik toegewezen aan warmte bij gescheiden opwekking
- **Exergie** : maat voor de nuttige arbeid die uit een brandstof of uit een energiestroom kan gehaald worden

- **Exergetisch rendement van een WKK** : ( $\alpha_{EX}$ ) 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.

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.

Men berekent de Carnoffactor 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.

- **Referentierendementen** : als referentierendementen gebruikt men de rendementen zoals weergegeven in de tabel hieronder.

Tabel 1: referentierendementen

Type installatie	Referentierendement elektriciteit (#) $\eta_{E, REF}$	Referentierendement Warmte $\eta_{W, REF}$
<b>Gasturbines</b> Aardgas	49,5	(Warm water / Stoom) 90/85
<b>Stoomturbines</b> Aardgas	49,5	(Warm water / Stoom) 90/85
Gasolie, Stookolie, LPG	41,8	89/84
Steenkool, Cokes	41,8	88/83
Vloeibare Biobrandstoffen	41,8	89/84
Biogas	39,7	70/65
Hout en houtafval	31,3	86/81
Niet-hernieuwbaar (stads- en industrieafval)	23,8	80/75
<b>motoren</b> Vloeibare Biobrandstoffen	41,8	(Warm water / Stoom) 89/84
Aardgas	49,5	90/85
Biogas	39,7	70/65

(#) Bij wijziging van het ministerieel besluit van 06.10.2006 inzake de vastlegging van referentierendementen voor toepassing van de voorwaarden voor kwalitatieve warmtekrachtinstallaties, kan de commissie beslissen de rendementen te herzien.

**Voor gemengde brandstofstromen** dient het referentierendement bepaald te worden op basis van een gewogen gemiddelde van de onderste calorische waarde van de thermische input.

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.

- **Bam:** totaal, door de WKK, vermeden brandstofverbruik dat in aanmerking komt als alternatieve maatregel
- **Wam:** door de WKK vermeden brandstofverbruik van de WKK, toegewezen aan warmteproductie dat in aanmerking komt als alternatieve maatregel
- **Kam:** door de WKK vermeden brandstofverbruik van de WKK, toegewezen aan elektriciteitsproductie, dat in aanmerking komt als alternatieve maatregel

### 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. De verrekening en de verdeling van de WKK-besparing

volgen dan uit de vergelijking van het primair energiegebruik bij de gekoppelde opwekking (WKK) met het primair energiegebruik bij gescheiden productie op basis van de rendementen van de referentie-installaties.

#### 3.3. De Carnot-factor

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

#### 3.4. Verrekenen van WKK-besparing bij afname van één van de outputstromen door meer dan één vestiging

Bij meer dan één vestiging van de outputstromen van de WKK wordt de besparing verdeeld onder de vestigingen volgens de afgenomen energie hoeveelheden.

### 4. Verrekenen en verdelen van de WKK-besparing.

#### 4.1. Berekening exergetisch rendement

Het exergetisch rendement wordt berekend met de formule (1) aangegeven in 2. Definities, namelijk

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

en

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

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.

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. Berekening van WKK als alternatieve maatregel

Voor deze WKK's gaat men als volgt te werk:

1. Bereken de primaire energie nodig voor gescheiden opwekking met de referentierendementen uit tabel 1 : (**B<sub>REF</sub>**)

$$B_{REF} = \frac{E}{\eta_{E,REF}} + \frac{W}{\eta_{W,REF}} \quad (5)$$

2. Bereken het brandstofverbruik van de norm-WKK : (**B<sub>norm</sub>**). Dit is het brandstofverbruik van een WKK die 10% primaire energie bespaart t.o.v. de gescheiden opwekking.

$$B_{norm} = 0,9 * B_{REF} \quad (6)$$

3. Bereken het aandeel van de energiebesparing dat in aanmerking komt als alternatieve maatregel (**B<sub>am</sub>**) : met B zijnde de brandstoftoevoer naar de eigen WKK (zie 2. Definities)

$$B_{am} = B_{norm} - B \quad (7)$$

Indien **B<sub>am</sub>** positief is kan u deze primaire energie inbrengen als alternatieve maatregel.

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.

Indien  $B_{am}$  negatief is, is uw WKK niet performant genoeg om als alternatieve maatregel in aanmerking te komen. Dit betekent uiteraard niet dat er geen energie bespaard wordt.

#### 4. Opsplitsing van $B_{am}$ over W en E

Het aan elektriciteit toegewezen deel  $X$  van de brandstofinput naar de WKK wordt berekend met formule (3).

Dit deel vergelijkt men nu met de brandstof nodig voor gescheiden opwekking, die berekend wordt met de formule :

$$X_{REF} = \frac{E}{\eta_{E,REF}} \quad (8)$$

Indien :

$$X \geq \frac{E}{\eta_{E,REF}} \quad (9)$$

gaat de  $B_{am}$  volledig naar de warmte.

Indien :

$$X < \frac{E}{\eta_{E,REF}} = X_{REF} \quad (10)$$

moet men de  $B_{am}$  verdelen over E en W in respectievelijk  $K_{am}$  en  $W_{am}$

Men berekent nu :

$$Y_{REF} = \frac{W}{\eta_{W,REF}} \quad (11)$$

en vervolgens :

de vermeden brandstof t.o.v. gescheiden opwekking =  $(X_{REF} - X) + (Y_{REF} - Y)$  (12)

Deel van de  $B_{am}$  aan elektriciteit toegekend is

$$K_{am} = \frac{X_{REF} - X}{(X_{REF} - X) + (Y_{REF} - Y)} * B_{am} \quad (13)$$

waarbij  $B_{am}$  berekend werd met formule (7).

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.

Op analoge manier berekent men het deel van de **Bam** dat aan warmte wordt toegekend :

$$\mathbf{Wam} = \frac{Y_{REF} - Y}{(X_{REF} - X) + (Y_{REF} - Y)} * \mathbf{Bam} \quad (14)$$

#### 4.3. Verdelen van Bam bij afname van één van de outputstromen door meer dan één vestiging.

- De totale **Bam** wordt in eerste instantie berekend en opgesplitst volgens de formules van 4.2. Dit geeft als resultaat de **Kam** en **Wam**.
- De **Wam** wordt over de verschillende warmtegebruikers verdeeld à rato van de energie-inhoud van de warmte van de WKK afgenomen door elke vestiging.
- De **Kam** wordt over de verschillende elektriciteitsgebruikers verdeeld à rato van de energie-inhoud van de elektriciteit van de WKK afgenomen door elke vestiging.

#### 4.4. Opgvolging van de Bam: monitoring van de WKK prestaties

De energiebesparing van de WKK wordt opgevolgd via de jaarlijkse monitoringrapporten. Hierdoor kan de evolutie van de **Bam** gevolgd worden. Voor een uniforme monitoring zal de commissie benchmarking een toelichting opmaken.

Indien een bedrijf in 2012 gebruik wenst te maken van WKK als alternatieve maatregel voor het bereiken van de wereldtop of ter compensatie van (een) onrendabele maatregel(en), wordt de gemiddelde **Bam** over de periode 2008-2012 of desgevallend de periode tussen industriële commissioning en 2012 voor nieuw opgestarte WKK's, in rekening gebracht.

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. Cijfervoorbeelden

### 5.1. Berekening **B**<sub>am</sub>

Ter illustratie volgend voorbeeld van twee WKK's met gasturbine die 350 GJ elektriciteit en 500 GJ warmte produceren. De eerste verbruikt 1000 GJ brandstof, de tweede 1300 GJ. De referentierendementen uit tabel 1 zijn 49,5 % voor elektriciteit en 85% voor warmte. (stoomproductie)

Berekening volgens 4.2.

$$\text{Stap 1 : Bereken } B_{REF} : B_{REF} = \frac{500}{0,85} + \frac{350}{0,495} = 1295,3 \text{ GJ}$$

Stap 2 : Bereken de **B**<sub>norm</sub> :

$$B_{norm} = 1295 \text{ GJ} * 0.9 = 1165,8 \text{ GJ}$$

Stap 3 : Bereken de waarde van de **B**<sub>am</sub>

Dit geeft voor de eerste WKK:

$$B_{am} = B_{norm} - B = 1165,8 - 1000 \text{ GJ} = 165,8 \text{ GJ}$$

Over de periode dat de WKK operationeel was kan dus jaarlijks 165,5 GJ ingebracht worden als alternatieve maatregel.

Voor de tweede WKK echter geldt:

$$B_{am} = B_{norm} - B = 1165,8 - 1300 \text{ GJ} = -134,2 \text{ GJ}$$

Wat betekent dat de tweede WKK niet performant genoeg is om als alternatieve maatregel opgevoerd te worden.

Voor gemengde brandstofstromen dient het referentierendement bepaald te worden op basis van een gewogen gemiddelde van de onderste calorische waarde van de thermische input.

In het voorbeeld hierboven zou de 350 GJ elektriciteit en 500 GJ warmte opgewekt kunnen worden met 10% biogas en 90 % aardgas (verhouding op basis van de onderste verbrandingswaarden).

De berekening van de **B**<sub>am</sub>, voor de WKK die in totaal 1000 GJ brandstof gebruikt, is dan als volgt:

Stap 0 : bereken de referentierendementen op basis van de gewogen gemiddelde van de onderste calorische waarde van de thermische input en tabel 1:

$$\text{Referentierendement warmte} = (0,9 * 0,85) + (0,1 * 0,65) = 0,83$$

$$\text{Referentierendement elektriciteit} = (0,9 * 0,495) + (0,1 * 0,397) = 0,4852$$

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.
---

Stap 1 : Bereken  $B_{REF}$  :

$$B_{REF} = 500/0,830 + 350/0,4852 = 1323,8 \text{ GJ}$$

Stap 2 : het brandstofverbruik van de norm-WKK wordt dan:

$$B_{norm} = 1324 * 0,9 = 1191,4 \text{ GJ}$$

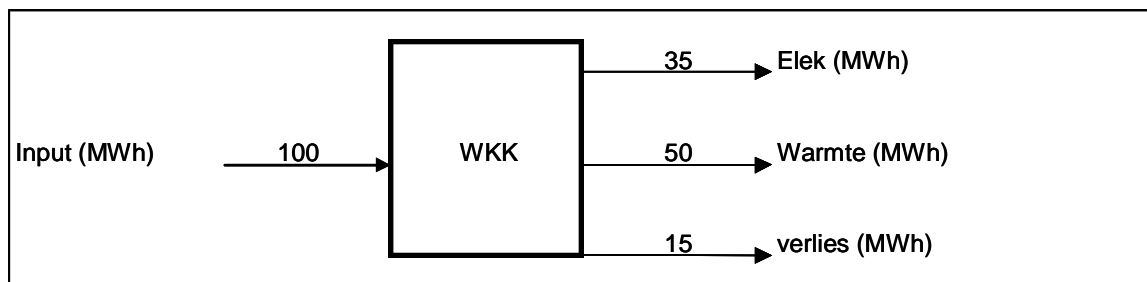
Stap 3 : de waarde van de  $B_{am}$  wordt:

$$B_{am} = B_{norm} - B = 1192 - 1000 = 191,4 \text{ GJ}$$

## 5.2. 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 1, waarbij stoom geproduceerd wordt op  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , zodat  $T_s = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Per definitie is  $T_o = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Figuur 1: Voorbeeld WKK, schematisch**

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

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

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

$$\alpha_{EX} = \alpha_E + \alpha_W * C_f \tag{1}$$

$$= 0,35 + 0,5 * 0,391 = 0,5455$$

$X$  = toegewezen deel van de primaire brandstofinput aan de elektriciteit

$$X = \frac{0,35}{0,5455} * B = 0,6416 * 100 = 64,16 \tag{3}$$

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.



Y = toegewezen deel van de primaire brandstofinput aan de warmte

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

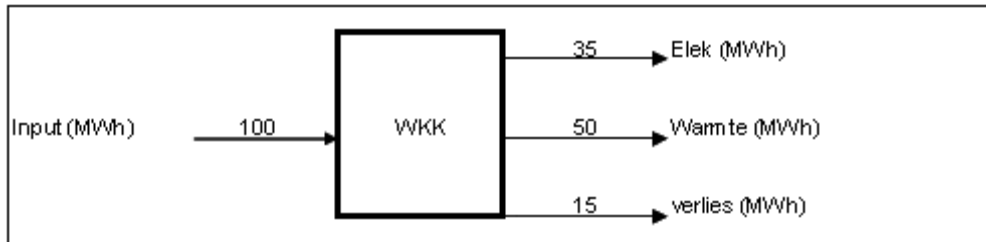
$$= B - X = 100 - 64,16 = 35,84$$

**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**

### 5.3. Voorbeeld 1

Voorbeeld: WKK op basis van aardgas, elektrisch referentierendement  $\eta_{E, REF} = 49.5\%$  en referentierendement voor warmte in de vorm van stoom  $\eta_{W, REF} = 85\%$ . De data voor brandstof, elektriciteit en warmte zijn weergegeven in figuur 2.



**Figuur 2: WKK**

We controleren eerst volgens 4.2. of er **Bam** gegenereerd wordt:

$$B_{REF} = \frac{50}{0.85} + \frac{35}{0.495} = 129,53 \text{ MWh}$$

$$B_{am} = (B_{REF} * 0,9) - B = (129,53 * 0,9) - 100 = 16,58 \text{ MWh}$$

We berekenen nu het exergetisch rendement ( $\alpha_{EX}$ ) en de toewijzing van primaire brandstof aan elektriciteit (X) en aan warmte (Y) volgens 4.1.

$$\alpha_E = E/B = 35/100 = 0,35$$

$$\alpha_W = W/B = 50/100 = 0,5$$

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.

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

$$\alpha_{EX} = \alpha_E + \alpha_W * C_f = 0,35 + 0,5 * 0,391 = 0,5455$$

$$X = \frac{0,35}{0,55} * 100 = 0,6416 * 100 = 64,16$$

$$Y = \frac{0,5 * 0,391}{0,5455} * B = 0,3584 * 100 = 35,84$$

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

Nu moet de **B**am nog verdeeld worden over de warmte- en de elektriciteitsschijf.

We volgen de berekening beschreven in 4.2.

$$X < \frac{E}{\eta_{E,REF}} = X_{REF} \quad \text{of} \quad X_{REF} = \frac{35}{0,495} = 70,71$$

$$Y_{REF} = \frac{W}{\eta_{W,REF}} \quad \text{of} \quad Y_{REF} = \frac{50}{0,85} = 58,82$$

Toepassen van formule (12) geeft het vermeden brandstofverbruik t.o.v. gescheiden opwekking :

$$(70,71 - 64,16) + (58,82 - 35,84) = 29,53 \text{ MWh}$$

Deel van de **B**am aan elektriciteit toegekend (Kam) is volgens formule (13)

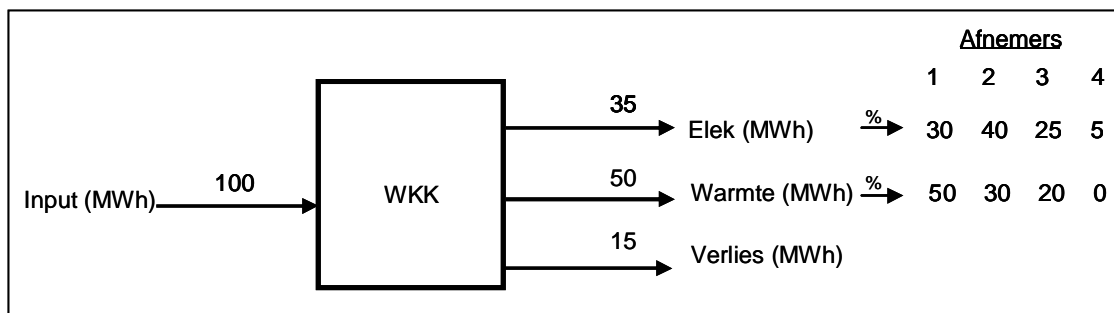
$$\text{Kam} = \frac{70,71 - 64,16}{29,53} * 16,58 = 3,67 \text{ MWh}$$

Op analoge manier berekent men het deel van de bonus die aan warmte wordt toegekend via (14) :

$$\text{Wam} = \frac{58,82 - 35,84}{29,53} * 16,58 = 12,90 \text{ MWh}$$

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.

#### 5.4. Berekening toewijzing van de Kam bij afname van de outputstromen door meer dan één vestiging : Voorbeeld 2



**Figuur 3: WKK met 3 afnemers (vestigingen) van warmte en 4 van elektriciteit**

We vertrekken van de WKK uit 5.3, waarbij een **Kam** van 3,67 MWh berekend werd en een **Wam** van 12,90 MWh.

De door de WKK opgewekte warmte en elektriciteit worden verbruikt door meerdere vestigingen, zoals weergegeven in figuur 3.

De verdeling van de Wam en Kam verloopt als volgt:

##### **Stap 1: Verdeling van de Wam:**

De **Wam** wordt verdeeld per vestiging met warmtegebruikers op basis van het percentage afgenomen warmte van de WKK.

Dus vestiging 1 : bekommt 50% van 12,90 MWh = 6,45 MWh  
 vestiging 2 : bekommt 30% van 12,90 MWh = 3,87 MWh  
 vestiging 3 : bekommt 20% van 12,90 MWh = 2,58 MWh

---

Som	100%	12,90 MWh
-----	------	-----------

##### **Stap 2: Verdeling van de Kam:**

De **Kam** wordt verdeeld per vestiging met elektriciteitsgebruikers op basis van het percentage afgenomen elektriciteit van de WKK.

Dus vestiging 1 : bekommt 30% van 3,67 MWh = 1,10 MWh  
 vestiging 2 : bekommt 40% van 3,67 MWh = 1,47 MWh  
 vestiging 3 : bekommt 25% van 3,67 MWh = 0,92 MWh  
 vestiging 4 : bekommt 05% van 3,67 MWh = 0,18 MWh

---

Som	100%	3,67 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.