

## METHODOLOGIE D'ANALYSE ENVIRONNEMENTALES SYSTEMES DE COGENERATION

Roxana PĂTRAȘCU<sup>1</sup>

*Se prezintă un model de analiză a impactului asupra mediului pentru diferite  
filiiere de cogenerare, utilizând ca metodologie Analiza ciclului de viață (ACV).*

*The article presents a way of analysis of environmental impact for several  
different cogeneration systems using like methodology Life Cycle Analysis.*

*On considère un modèle d'application de l'analyse environnementale de  
différentes filières de cogénération en appliquant la méthodologie l'Analyse de  
Cycle de Vie (ACV).*

**Mots clefs :** cogénération, l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), protection de  
l'environnement, rejets polluants.

### 1. Introduction

Dans un contexte de la libéralisation des marchés de l'énergie et de nouvelles contraintes environnementales, les rendements globaux élevés de la cogénération lui permettent d'être une des techniques les plus économiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre – rôle officiellement reconnu par l'Union Européenne, aussi que pour les énergies renouvelables.

On observe un effort permanent et une volonté de diversifier et de délocaliser les systèmes de production d'énergie, sous la pression des impératifs de la protection de l'environnement et de la nécessité des économies d'énergie.

La cogénération qui permet la production simultanée de chaleur et d'énergie électrique, apparaît comme une voie intéressante qui permet des développements significatifs. Au cours de ces dernières années, ont pris un ensemble des mesures juridiques, fiscales, techniques et économiques favorables pour le développement de la cogénération. Ces mesures se traduisent aujourd'hui par un nombre important de projets d'installations de cogénération dans l'ensemble des secteurs de l'industrie et du tertiaire.

Maintenant il est admis que ne se peut plus envisager la conception ou l'analyse des performances d'un système énergétique sans prendre en compte, au

---

<sup>1</sup> Reader, Dept. of Power Plant, University POLITEHNICA of Bucharest, Romania

delà des performances thermodynamiques du système, l'efficacité économique des équipements utilisées et l'ensemble des effets sur l'environnement concernant le fonctionnement du système pendant son cycle de vie. L'outil de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) permet de réaliser l'inventaire et de quantifier les impacts sur l'environnement, au niveau d'un produit, d'un procédé ou d'une activité, depuis l'extraction des matières premières jusqu'aux étapes d'élimination ou de recyclage du produit à la fin de vie. Dans ce travail j'ai abordé l'analyse environnementale de différentes filières de cogénération en appliquant la méthodologie de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) [1].

## **2. Application de l'ACV aux systèmes de cogénération**

Les systèmes de cogénérations choisies pour l'application de la méthodologie sont :

- Turbine à gaz fonctionnant au gaz
- Moteur à gaz fonctionnant au gaz.

### **Définition des objectifs**

Le but de L'analyse de cycle de vie des systèmes de cogénération est de créer un outil d'aide à la décision du point de vu environnemental sur une installation de cogénération.

**L'unité fonctionnelle** est la production d'énergie utile totale de 100 kWh (énergies électriques et thermiques) prises en sortie d'installation de cogénération pendant la période de chauffage pour un rapport de cogénération connu (rapport entre l'énergie électriques et thermiques produisent en cogénération).

### **Définition des frontières des systèmes**

Je vais analyser le cycle de vie du gaz comme combustible de l'extraction dans le gisement jusqu' à la fin de la combustion.

- A. L'extraction, le traitement, le transport du combustible;
- B. La combustion (transformation énergétique) du combustible.

### **Hypothèses simplificatrices**

- l'analyse ne prend pas en compte les impacts environnementaux liés au cycle de vie des matériaux des installations (l'impact sur l'environnement de la réalisation de l'installations est beaucoup plus faible que l'impact liée à la production d'énergie (phase de fonctionnement);
- pour les installations de cogénération je ne pris en compte que le rendement global;

- le rapport de cogénération est considéré connu et fixe, conformément à l'unité fonctionnelle définie;
- les impacts environnementaux liés à la consommation de l'air comburant sont pris en compte dans la pollution atmosphérique émise par l'installation en fonctionnement (combustion).

### **Inventaire**

Les flux d'entrées et sorties de chaque sous système sont exprimés par rapport à l'unité fonctionnelle. Ils constituent les bilans matière-énergie tout au long du cycle de vie des combustibles pour un fonctionnement normal des systèmes [3].

Comme est déjà présenté, dans l'analyse on distingue deux sous-systèmes :

A. le sous-système du combustible utilisé, qui correspond aux étapes d'extraction, traitement et transport du combustible, jusqu'à l'entrée dans l'installation de production d'énergie ;

B. le sous-système de combustion effective, il s'agit de l'installation de cogénération.

### **3. Les étapes de la méthodologie de calcul des rejets polluants des systèmes de cogénération analysées**

A partir de la puissance totale imposée d'être produite par l'installation on calcul :

- l'énergie primaire consommée à l'entrée de l'installation compte tenu du son rendement global ;
- la quantité de combustible correspondante à l'énergie d'entrée à partir du Pouvoir Calorifique Inférieur ( $H_i$ ) du combustible ;
- la pollution atmosphérique.

Pour la pollution atmosphérique il faut déterminer :

- les différents rejets dans les premières étapes du cycle de vie du combustible à partir de base de données ;
- les différents rejets associés à la combustion en utilisant les normes, rejets par volume de fumées produites.

Le tableau 1 présente les grandeurs nécessaires de l'ACV pour déterminer d'entrées et sorties, et donc le calcul des bilans de matières et d'énergie du chaque système étudié.

Tableau 1

## Les grandeurs nécessaires

<b>A. Données nécessaires et transformations énergétiques pour le sous-système du combustible utilisé, qui corresponde aux étapes d'extraction, du traitement et du transport de combustible</b>	
1	2
Caractéristiques du combustible	Pouvoir Calorifique Inférieur, $H_i$ Volume des fumées produites, $V_f$
Rendements d'extraction, du traitement et du transport de combustible	$\eta_{ex}$ , $\eta_{trait}$ , $\eta_{tr}$
Valeurs des rejets atmosphériques dans les différentes étapes du cycle de vie du combustible: l'extraction, le traitement et le transport jusqu'à l'entrée dans l'installation de production de l'énergie	poussière, CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CH <sub>4</sub> , HC COV, métaux
<b>B. Données nécessaires et transformation énergétiques pour le sous-système de combustion du combustible</b>	
Energie produite	Thermique - $E_u = E_t$ (kWh) Electrique - $E_u = E_e$ (kWh) Thermique et Electrique - $E_u = E_t + E_e$ (kWh)
Caractéristiques des installations de production de l'énergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production séparée de l'énergie thermique: dans une chaufferie, <math>E_u = E_t</math> (kWh)</li> <li>• Production séparée de l'énergie électrique: dans une centrale électrique avec condensation, <math>E_u = E_e</math> (kWh)</li> <li>• Production en cogénération de l'énergie thermique et électrique, <math>E_u = E_t + E_e</math> (kWh) – avec turbine à gaz (TG) ou moteur à gaz (MT)</li> </ul>
Numéraux d'unités de 100 KWh, de l'énergie utile consommée	$n = E_u/100$ (kWh/kWh)
Rendement global pour les installations	$\eta_g$ – global pour la cogénération

de production de l'énergie	$\eta_e$ – rendement électrique pour la production séparée d'énergie électrique $\eta_t$ - rendement thermique pour la production séparée d'énergie thermique
Indicateurs spécifiques des installations de production d'énergie en cogénération [4]	<p>On considère:</p> $E_u = E_t + E_e$ $E_e = E_{ecg} + E_{ec}$ , ou $E_{ecg}$ – l'énergie électrique produite en cogénération, $E_{ec}$ – énergie électrique produit en non cogénération $E_t = E_{tcg} + E_{tv}$ , ou $E_{tcg}$ – l'énergie thermique produite en cogénération, $E_{tv}$ – l'énergie thermique produite en non cogénération rapport de structure de la production d'énergie : $y_s = E_e / E_t$ Grade de cogénération : $x = E_{ecg} / (E_{ecg} + E_{ec})$ Coefficient de cogénération : $\alpha = E_{tcg} / (E_{tcg} + E_{tv})$ Rapport de cogénération : $y = E_{ecg} / E_{tcg}$ $Q = 100 / (y_s + 1)$ ; $E = y_s \cdot 100 / (y_s + 1)$ $y_s = y \cdot \alpha / x$
Valeurs des rejets atmosphériques associées à la production d'énergie	poussière, CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , CH <sub>4</sub> , autres hydrocarbures.

#### 4. Le calcul des valeurs des rejets polluants

La masse de polluant ( $M_A$ ) associée aux étapes du cycle de vie du combustible: l'extraction, le traitement et le transport pour la production d'une quantité de 100 kWh, est:

$$M_A = r_i (E_e + E_t) / \eta_g H_i \quad [\text{g}/100\text{kWh}] \quad (1)$$

$$E_e = E_{ecg} + E_{ec} \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

$$E_t = E_{tcg} + E_{tv} \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

$$y = E_{ecg} / E_{tcg} \quad [\text{kWh}_e / \text{kWh}_t] \quad (4)$$

La masse de polluant ( $M_B$ ) associée à la combustion pour la production d'une quantité de 100 kWh, est:

$$M_B = n_j V_f (E_e + E_t) / \eta_g H_i \quad [\text{g}/100\text{kWh}] \quad (5)$$

Où:  $i$  - {poussière, CO, CO<sub>2</sub>, SOx, NOx, CH<sub>4</sub>, HC ou COV};  $r_i$  – rejet de polluant “ $i$ ” associée à la production d'une unité du combustible considéré, g/Nm<sup>3</sup> gaz;  $j$  - {poussière, CO, CO<sub>2</sub>, SOx, NOx};  $n_j$  – rejets du polluant “ $i$ ”, g/Nm<sup>3</sup> fumées [2].

La masse totale  $M_k$  de polluant “ $k$ ” associée à la production de 100 kWh, par une filière de cogénération:

$$\begin{aligned} M_k &= M_{Ak} + M_{Bk} = (r_k + n_k V_f) (E_e + E_t) / \eta_g H_i = \\ P_k (E_e + E_t) / \eta_g H_i &= P_k E_t (y + E_t) / \eta_g H_i = \\ &= P_k E_e (1/y + 1) / \eta_g H_i \quad [\text{g}/100\text{kWh}] \end{aligned} \quad (6)$$

Où:  $k$  représente la réunion “ $i$ ” et “ $j$ ” et  $P_k$  est un coefficient de calcul :

$$P_k = r_k + n_k V_f, [\text{Nm}^3/\text{Nm}^3 \text{ gas}] \quad [3].$$

Le calcul des valeurs de rejets des polluants des filières de production séparée de l'énergie électrique et thermique est réalisé pour des puissance électrique et thermique égales à celles fournies par l'installation de cogénération [4].

On considère:

–  $\eta_e$  – le rendement électrique pour la production séparée d'énergie électrique;

–  $\eta_t$  – le rendement thermique pour la production séparée d'énergie thermique.

$$E_e + E_t = 100 \text{ kWh};$$

$$y_s = E_e/E_t, \text{ rapport de structure de la production d'énergie .}$$

$$E_{et}/E_e = E_{et}/(E_{et} + E_{ee}) = x \quad [\text{kWh}_e/\text{kWh}_e] \quad (7)$$

$$E_{tcg}/E_t = E_{tcg}/(E_{tcg} + E_{tv}) = \alpha \quad [\text{kWh}_t/\text{kWh}_t] \quad (8)$$

$$E_e = E_{ecg}/x \text{ et } E_t = E_{tcg}/\alpha \quad (9)$$

$$y_s = E_e/E_t = y \alpha_t/x_t \quad [\text{kWh}_e/\text{kWh}_t] \quad (10)$$

La masse totale d'entrées et sorties pour la production séparée d'énergie:

$$M_{sk} = M_{Ek} + M_{Tk} = r_{ek} E_e / \eta_e H_i + r_{tk} E_t / \eta_t H_i =$$

$$= [100 r_k / H_i (1 + y_s)] * [(y_s / \eta_e) + (1 / \eta_t)] \text{ [g/100kWh]} \quad (11)$$

Le tableau 2 présente les rejets polluants pour le sous-système de combustion du combustible pour la production en cogénération de l'énergie thermique et électrique, avec turbine (TG) et moteur à gaz (MT) [5].

Tableau 2

**Les rejets polluants pour les filières de cogénération  
avec turbine et moteur à gaz**

Filières de cogénération	Rejets	Valeurs des rejets (g/100kWh)		Conditions spécifiques
		Puissance < 20MW	Puissance > 20MW	
<b>TG</b>	Poussière	2,15	0,715	Volume des fumées : $V_f = 10,85 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3$  Rendement pour la cogénération avec turbine à gaz: $\eta_{TG} = 78\%$
	CO	14,3	14,3	
	SO <sub>x</sub>	157	1,43	
	NO <sub>x</sub>	21,5	14,3	
	CO <sub>2</sub>	$2,2 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	
<b>MT</b>	Poussière	6,34	12,7	Rendement pour la cogénération avec moteur à gaz: $\eta_{MT} = 88\%$
	CO	101	82,4	
	SO <sub>x</sub>	380	4,44	
	NO <sub>x</sub>	63,4	63,4	
	CO <sub>2</sub>	$2,9 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^4$	

## 5. Conclusions

Dans le moment quand la cogénération connaît un net regain d'intérêt est nécessaire d'élaborer une méthodologie pour l'évaluation d'impact sur l'environnement des différents systèmes de cogénération. Cette évaluation des systèmes de cogénération implique d'être connus les résultats de la méthodologie de l'ACV appliquée aux systèmes classiques de la production séparée d'énergie thermique et électrique, qui vont servir de référence pour la comparaison avec les systèmes de cogénération. Cet outil est destiné à tous ceux qui souhaitent d'approcher l'évaluation des performances environnementales d'une installation de cogénération à partir de ces propres données.

## R E F E R E N C E S

- [1]. ISO 14040 (1997)., Analyse de Cycle de Vie. Principe et cadre, Genève, 1997.
- [2]. *P. Rousseaux*, Analyse de Cycle de Vie: évaluation des impacts. Les techniques de l'ingénieur, 1998.
- [3]. \*\*\*, Législation communautaire en matière d'environnement, **vol. 2**, Air CCE, Bruxelles, 1998.
- [4]. *Roxana Pătrașcu*, Producerea energiei și impactul asupra mediului în contextul dezvoltării durabile, Editura POLITEHNICA PRESS, București 2006.
- [5]. *Gh. Lăzăroi, Roxana Pătrașcu s.a.* – Impactul CTE asupra mediului, Editura POLITEHNICA PRESS, București, 2005.