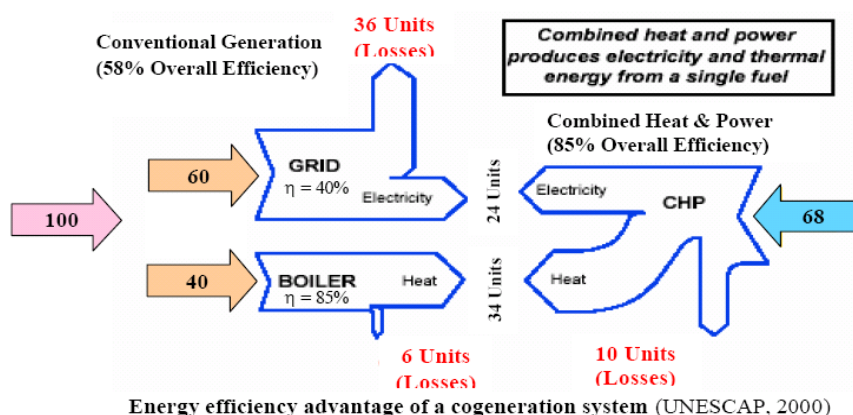


Obliczanie emisji gazów cieplarnianych (GHG) w układach kogeneracji oraz rekomendacje

1 Motywacja

Metody obliczania alokacji emisji gazów cieplarnianych (GHG) to niezwykle ważne narzędzie polityki energetycznej. Ich celem jest wsparcie systemów **planowania energetycznego, podejmowania decyzji i rozwoju strategii** na poziomie regionalnym oraz krajowym. Alokacja emisji GHG dla energii elektrycznej i ciepła układu CHP jest szczególnie istotna w przypadku gdy wygenerowane ciepło i elektryczność są konsumowane przez różnych odbiorców i gdy musimy dokonać porównania różnych sposobów produkcji ciepła.

Układy kogeneracji wytwarzają energię elektryczną oraz ciepło jednak efektywność produkcji ciepła sięga 95% i więcej, zaś sprawność układów generacji energii elektrycznej rzadko przekraczają poziom 60%. Powstaje pytanie: Jaką część emisji GHG należy przyporządkować generacji energii elektrycznej i ciepła?



2 Obliczanie emisji GHG

Istnieją 3 standardowe metody obliczania emisji GHG dla różnych paliw:

$$\text{Emisja GHG} = \text{Paliwo} * EF_1 \quad (1)$$

Emisja GHG = Ilość emisji CO₂, CH₄ lub N₂O; *Paliwo* = masa lub objętość spalonego paliwa; *EF1* = wskaźnik emisji CO₂, CH₄ or N₂O na jednostkę masy lub objętości,

$$\text{Emisja GHG} = \text{Paliwo} * HHV * EF_2 \quad (2)$$

HHV = Ciepło spalania, jednostka ciepła na masę lub objętość paliwa; *EF2* = wskaźnik emisji CO₂, CH₄ lub N₂O na jednostkę energii (ciepła);

$$\text{Emisja GHG} = \text{Paliwo} * CC * 44/12 \quad (3)$$

CC = zawartość węgla w jednostce masy paliwa na masę lub objętość paliwa, *44/12* = stosunek masy molekularnej CO₂ do C

2.1 Energia pierwotna (PE)

oznacza energię odnawialnych lub kopalnych paliw, które nie zostały poddane żadnym procesom konwersji lub transformacji. Energia ta może zostać poddana procesom konwersji i przekazana do użytkowników jako **Energia Końcowa** w postaci elektryczności lub ciepła. PE zazwyczaj uwzględnia energię zużytą w procesie pozyskiwania, transportu oraz transformacji do energii końcowej.

2.2 Wskaźnik Energii Pierwotnej (PEF)

określa ilość PE koniecznej dla generacji jednostki energii elektrycznej lub ciepła

Energia Pierwotna * Efektywność Systemu = Energia końcowa

Wskaźnik Energii Pierwotnej = Energia Pierwotna/Energia Końcowa

3 GHG allocation methods

The following (most popular in EU) methods were assessed in LowTemp project: **Energy method, Alternative generation method, Power bonus method, Exergy method, 200% method, Pas 2050, Dresden method**. There are other methods in literature: Work method, Finnish method, All savings allocated to electricity, All savings allocated to heat, 50%-50% sharing of savings between heat and electricity, Primary energy content of heat and electricity

W projekcie BSR LowTEMP rozważono 7 metod alokacji emisji GHG (najbardziej popularnych w UE), w tym Energii (Energy method), Generacji Alternatywnych (Alternative generation method), Bonusu mocy (Power bonus method), Egzergii (Exergy method), 200% (200% method), Pas 2050 (Pas 2050 method), Drezdeńska (Dresden method).

3.1 Metoda Energii

Metoda Energii – użyte paliwo oraz emisje GHG alokowane są dla ciepła oraz elektryczności w oparciu o energię zawartą w obu produktach: Zaletą tej metody jest jej prostota i jednoznaczność. Wadą jest to, że nie uwzględnia ona jakości produktów, tj. nie bierze pod uwagę, że elektryczność może być łatwiej i z większą efektywnością przekształcona w ciepło niż odwrotnie. **Wskaźnik alokacji emisji GHG dla ciepła:**

$$f_Q = Q / (Q + E)$$

3.2 Alternative generation method

Metoda Generacji Alternatywnych znana również jako Efficiency Method lub Benefit Sharing Method (BSM) była zaproponowana przez fińską The Finnish District Heating Association. Metoda alokuje emisje GHG oraz paliwa dla generacji ciepła i elektryczności biorąc pod uwagę ilości paliwa, które są konieczne dla wygenerowania tej samej ilości ciepła i energii elektrycznej w przypadku ich oddzielnej produkcji. Alternatywna produkcja w oddzielnych jednostkach zależy od sprawności procesów $\eta_{alt_ciepło}$ i η_{alt_elektr} , stąd

$$f_Q = (Q/\eta_{alt_ciepło}) / (Q/\eta_{alt_ciepło} + E/\eta_{alt_elektr})$$

3.3 Metoda Bonusu Mocy

Metoda Bonusu Mocy to metoda często używana w UE dla alokacji emisji GHG dla ciepła i elektryczności. W metodzie tej ciepło jest głównym produktem, natomiast wyprodukowana energia elektryczna jest traktowana jako bonus. Stąd Energia Pierwotna alokowana jest początkowo dla produkowanej w CHP elektryczności, i następnie odejmowana od całkowitej Energii Pierwotnej

$$f_Q = (E_{P,in} - W_{CHP} f_{P,elt}) / (Q_{del} + E_{del})$$

Q_{del} – ciepło dostarczone do odbiorców, E_{del} – wyprodukowana energia w CHP

3.4 Metoda Egzergii

Metoda Egzergii (metoda najbardziej fizykalna) – paliwo jak i emisje GHG są alokowane dla ciepła i elektryczności w oparciu o egzergie obu produktów. Egzergia produktów jest miarą maksymalnej pracy użytecznej, która może być wykonana przez obydwa produkty. Stosunek energii oraz egzergii jest określana jako wskaźnik jakości.

Z punktu widzenia termodynamiki, wygenerowanej w CHP energii elektrycznej przyporządkowujemy współczynnik egzergii równy 1, stąd egzergia elektryczności jest definiowana jako $Ex_E = E$. Oznacza to, że 100% elektryczności może być przekształcone w jakikolwiek rodzaj energii (pracy). Ciepło można zamienić na pracę/energię jedynie w pewnym stopniu, stąd egzergię ciepłą obliczamy jako:

$$Ex_Q = (1 - T_o/T) Q,$$

gdzie T_o – jest średnią temperaturą otoczenia w sezonie grzewczym a T – jest średnią termodynamiczną systemu ciepłowniczego $T = (T_s - T_r) / \ln(T_s/T_r)$

$$f_Q = Ex_Q / (Ex_Q + Ex_E)$$

3.5 Metoda 200%

Metoda 200% zaproponowana przez Danish Energy Agency – zakłada 200% efektywność dla produkcji ciepła. Oznacza to, że aby wyprodukować jednostkę ciepła trzeba użyć jedynie 0.5 jednostki paliwa, pozostała 0.5 jednostki będzie odzyskana w skraplaczu turbiny. Stąd połowę emisji związanej z produkcją jednostki ciepła można przyporządkować generacji elektryczności

$$f_Q = Q / 2 Fuel_{in}$$

3.6 Pas 2050

Metoda PAS 2050 jest standardem Brytyjskim, wykorzystywanym w obliczeniach emisji GHG dla produkcji dóbr i usług. Alokując emisje w systemach CHP dla wyprodukowanego ciepła i energii, wprowadza się współczynnik 'intensywności' - 'n' różny dla różnych systemów: $n = 2,5$ w przypadku CHP z kotłami wykorzystującymi węgiel, biomasę i inne paliwa stałe; $n = 2.0$ w układach z turbinami spalinowymi (na gaz naturalny, wysypiskowy)

$$f_Q = Q / (Q + n E)$$

3.7 Dresden method

Metoda Drezdeńska opiera się również na pojęciu egzergii. W elektrowniach cała Energi Pierwotna

jest poświęcona produkcji energii elektrycznej. W układzie CHP, część jest poświęcona produkcji ciepła. Opisuje jak określić stratę energii elektrycznej spowodowaną produkcją ciepła (kondensacja pary) w jednostce CHP

$$\Delta E = Q \eta_c \nu_p,$$

gdzie η_c jest efektywnością Carnot'a a ν_p jest jakością procesu.

$$f_a = \Delta E / E$$

Metoda	Wskaźnik alokacji dla ciepła, f_a	Wskaźnik alokacji, f_a
Energii	$Q / (Q + E)$	0,2162
Generacji Alternatywnych	$(Q/\eta_{alt_cieplo}) / (Q/\eta_{alt_cieplo} + E/\eta_{alt_ele})$	0,3830
Bonusu mocy	$(E_{P,in} - W_{CHP} f_{p,elt}) / (Q_{del} + E_{del})$	0,2226
Egzergii	$Ex_Q / (Ex_Q + Ex_E)$	0,1507
200%	$Q / 2 Fuel_{in}$	0,0608
PAS 2050	$Q / (Q + n E)$	0,1212
Drezdeńska	$\Delta E / E$	0,0834

Wskaźnik alokacji emisji dla układu CHP produkujący energię 27 GWh rocznie i maksymalnym zapotrzebowaniu na ciepło 14 MW (Źródło: T. Tereshenko T, Nord N, Uncertainty of the allocation factors of heat and electricity production of combined cycle power plant, Applied Thermal Engineering 2015; 76:410-422.)

Method	AGFW	ZEBAU	BTU	RTU	IMP PAN	Thermopolis	HEM	SUM	Ranking	Variation
Energy method	52.000	52.000	49.857	52.286	53.143	59.143	53.143	371.57	5	5.0%
Alternative generation method	43.286	53.286	46.429	52.714	45.857	36.429	40.571	318.57	7	12.5%
Power bonus method	48.286	48.286	41.286	52.143	55.429	44.571	39.857	329.86	6	11.1%
Exergy method	71.000	71.000	70.714	60.714	60.571	59.429	57.000	450.43	1	9.0%
200% method	60.286	56.857	59.143	56.143	53.143	44.571	66.000	396.14	3	10.9%
PAS 2050	57.571	57.000	59.429	63.857	57.286	44.571	58.571	398.29	2	9.6%
Dresden Method	63.857	63.857	45.714	60.143	46.286	44.571	50.429	374.86	4	15.1%
	15.5%	12.4%	17.9%	7.7%	9.5%	16.5%	16.9%			

4 Wnioski

- Partnerzy projektu LowTemp project spośród badanych metod alokacji emisji GHG najwyżej ocenili metodę Exergii (Carnota). Dwie inne metody: **PAS 2050** and **200%** powinny być brane pod uwagę jako metody alternatywne – oceniono je podobnie.
- Metoda Egzergii jest najbliższa wymaganiom termodynamiki bierze pod uwagę jakość energii i określa górną granicę dla alokacji emisji produkowanemu ciepłu. Wariantem tej metody jest Metoda Drezdeńska – jednak wymaga ona większej ilości trudno dostępnych danych oraz bardziej złożonych obliczeń.
- Metody Generacji Alternatywnych oraz Bonusu Mocy uznano za najmniej adekwatne dla określenia alokacji emisji.