

Jarosław ZUWAŁA*, Piotr HRYCKO**

Analiza efektów energetycznych i ekologicznych procesu współspalania węgla i biomasy w kotle pyłowym OP-230

STRESZCZENIE. W artykule przedstawiono analizę efektów energetycznych i ekologicznych towarzyszących procesowi współspalania biomasy w kotle pyłowym OP-230. Podstawą analizy były badania energetyczno-emisyjne przeprowadzone przez Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu w jednej z krajowych elektrowni systemowych. Omówiono wpływ współspalania biomasy drzewnej i stanowiących biomasę odpadów z przemysłu spożywczego z węglem kamiennym. Przedstawiono charakterystyki porównawcze zmian poszczególnych elementów bilansu energetycznego kotła, odnosząc proces współspalania biomasy do spalania węgla bazowego. Wyznaczono wskaźniki emisji zanieczyszczeń do powietrza wykazując, że współspalanie biomasy prowadzi do obniżenia wielkości emisji substancji szkodliwych. Z uwagi na możliwość zaliczenia części energii bezpośredniej (energii elektrycznej i ciepła) powstającej w procesie współspalania do energii wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii, referat zawiera opis procedury bilansowania energii odnawialnej w rozważanej elektrowni, wraz z przykładem obliczeniowych ilustrującym metodykę bilansowania energii odnawialnej.

SŁOWA KLUCZOWE: współspalanie biomasy, sprawność kotła, efekty energetyczne i ekologiczne, energia odnawialna

* Dr inż., ** Mgr inż. — Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze; email: zuwala@ichpw.zabrze.pl

Recenzent: dr inż. Urszula LORENZ

Wprowadzenie

Wykorzystywanie biomasy do wytwarzania energii odnawialnej w krajowej elektroenergetyce jest procesem, który pomimo dotychczasowej i coraz szerszej implementacji wciąż wymaga wielu działań zachęcających do bardziej intensywnego rozwoju. Wszelkie nowe doświadczenia eksploatacyjne i badawcze w tym zakresie, szczególnie w zakresie współspalania biomasy i węgla kamiennego w elektrowniach i elektrociepłowniach, wpływają na podejmowanie działań w celu optymalizacji parametrów energetycznych i emisyjnych tego procesu.

Obecnie największym zainteresowaniem cieszą się technologie umożliwiające współspalanie biomasy z węglem w kotłach energetycznych, co wydaje się być najszybszą drogą prowadzącą do wykorzystania biomasy w jednostkach wytwórczych o dużych mocach, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej sprawności konwersji energii chemicznej, zawartej w spalonym paliwie.

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane wyniki badań energetyczno-emisyjnych procesu współspalania biomasy w pyłowym kotle energetycznym typu OP-230, pracującym w jednej z krajowych elektrowni systemowych. Cały zakres przedstawionych badań został zrealizowany przez Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze.

Z uwagi na fakt, że obowiązujące regulacje prawne zezwalają (zgodnie z Dyrektywą 2001/77WE [2]) na zaliczenie części energii produkowanej w procesie współspalania biomasy do energii odnawialnej, w referacie zaprezentowano metodologię bilansowania energii wytwarzanej w procesie współspalania i pochodzącej z odnawialnych źródeł energii. Algorytm zilustrowano przykładem liczbowym.

Charakterystyka obiektu i metodyka pomiarów

W elektrowni jest realizowany proces współspalania węgla i biomasy drzewnej w postaci trocin (mieszanka z drzew liściastych i iglastych o granulacji około 5 mm i maksymalnej wartości opałowej w stanie roboczym na poziomie 13 MJ/kg) oraz biomasy, którą stanowią odpady z przemysłu spożywczego — wytloki z produkcji kawy zbożowej, pochodzące z procesu przetwarzania ziaren jęczmienia i żyta oraz korzeni cykorii i buraka cukrowego (o granulacji około 10 mm i maksymalnej wartości opałowej w stanie roboczym na poziomie 8 MJ/kg). Prowadzony przez dostawcę proces przetwarzania i uzyskiwania tego paliwa obejmuje wyłącznie obróbkę mechaniczną i termiczną, nie powodującą jego zanieczyszczenia i skażenia substancjami chemicznymi. Sposób prowadzenia procesu powoduje, że wytloki stanowią biomasę w rozumieniu rozporządzenia MGIP z 9 grudnia 2004 [3].

Po przeprowadzeniu analizy rynku biomasy oraz zdolności logistycznych przyjęto nominalny (maksymalny) udział masowy biomasy w spalanej mieszance na poziomie 6,5%

(dla współspalania wytlóków) oraz 10% (dla współspalania trocin). Dla zwiększenia przejrzystości i jednoznaczności procedur rozliczeniowych energii odnawialnej, wymienione rodzaje biomasy nie są współspalane równocześnie.

Głównym celem przeprowadzonych badań było wykonanie pomiarów przepływowych oraz energetyczno-emisyjnych kotła OP-230 podczas współspalania mieszanki węgla i biomasy, jaką stanowiły trociny drzewne oraz wytloki z produkcji kawy zbożowej.

Przeprowadzone badania miały m.in. na celu określenie wpływu zawartości biomasy w spalanej mieszance na efekty energetyczne i ekologiczne (emisyjne) procesu współspalania oraz potwierdzenie przyjętego udziału biomasy jako zapewniającego uzyskiwanie korzystnego efektu ekologicznego przy stabilnej pracy kotła. Testy energetyczno-emisyjne prowadzone były z uwzględnieniem szczególnych wymagań stawianych tzw. testom koncepcyjnym [5], których wybrane wyniki stanowiły fragmenty dokumentacji uwierzytelniającej instalacji i procedur rozliczeniowych dla produkcji energii odnawialnej ze współspalania biomasy w analizowanej elektrowni.

Analiza parametrów energetycznych i emisyjnych procesu współspalania

Dla przeprowadzenia testów współspalania węgla z biomasą przygotowano dwie różniące się mieszanki węglowe: mieszankę węgla (ozn. „A”) przy współspalaniu węgla

TABELA 1. Właściwości fizykochemiczne składników mieszanki węglowej „A”

TABLE 1. Physicochemical properties of coal blend „A”

Pozycja	Symb.	Jedn.	Składnik mieszanki				Mieszanka „A”
			węgiel KWK Murcki	węgiel KWK Budryk	węgiel groszek	muł węglowy	
Wilgoć całkowita	W_t^r	%	7,10	12,60	6,90	24,40	11,93
Wilgoć analityczna	W^a	%	3,20	4,40	2,10	4,60	3,57
Popiół	A^a	%	36,60	31,30	8,00	49,50	34,25
Siarka całkowita	S_t^a	%	0,72	0,74	0,62	1,28	0,83
Siarka popiołowa	S_A^a	%	0,26	0,31	0,15	0,46	0,30
Siarka palna	S_C^a	%	0,46	0,43	0,47	0,82	0,54
Ciepło spalania	Q_s^a	kJ/kg	18 748	20 136	31 271	13 204	19 626
Wartość opałowa w stanie analitycznym	Q_i^a	kJ/kg	17 959	19 270	30 159	12 550	18 805
Wartość opałowa w stanie roboczym	Q_i^r	kJ/kg	17 137	17 407	28 560	9 438	17 166

z wtyłokami oraz mieszankę węgla „B” dla współspalania z trocinami drzewnymi. Wyniki przeprowadzonych analiz laboratoryjnych właściwości spalanych paliw, pomiarów energetycznych oraz obliczeń bilansowych procesu współspalania przedstawiono w tabelach 1–10.

TABELA 2. Zestawienie pozycji bilansu energetycznego kotła dla spalania węgla „A”

TABLE 2. Boiler energy balance components for coal blend „A” combustion

Pozycja		Jedn.	Wartość parametru
Wydajność kotła		Mg/h	212,80
Moc energetyczna kotła		MW	148,90
Obciążenie cieplne kotła		%	92,52
Średni strumień paliwa		Mg/h	25,50
Strumień energii chemicznej		MW	163,22
Strumień energii pary		MW	204,93
Straty ciepła	wylotowa	MW %	12,01 7,36
	niezupełnego spalania	MW %	0,01 0,01
	niecałkowitego spalania w żużlu	MW %	0,08 0,05
	niecałkowitego spalania w popiele lotnym	MW %	1,32 0,81
	w fizycznym cieple żużla	MW %	0,07 0,04
	w fizycznym cieple popiołu lotnego	MW %	0,14 0,09
	do otoczenia (promieniowania i konwekcji)	MW %	0,66 0,41
Sprawność energetyczna kotła (brutto)		%	91,23

TABELA 3. Udziały masowe składników mieszanki „A” i wtyłoków

TABLE 3. Mass share of individual components in total blend „A” mass

Pozycja		Masa [Mg]	Udział masowy [%]	
składnik	sortyment		wg pomiaru masy rzecz.	w przeliczeniu na suchą masę
Wtyłoki	—	38	6,64	1,92
Węgiel KWK Murcki	miał	240	41,96	44,07
Węgiel KWK Budryk	miał	100	13,99	20,30
Węgiel	groszek	80	16,43	17,50
Muł węglowy	—	120	20,98	16,20

TABELA 4. Zestawienie pozycji bilansu energetycznego kotła dla spalania węgla „A” i wytłoków

TABLE 4. Boiler energy balance components for co-firing of coffee shells and coal blend „A”

Pozycja		Jedn.	Wartość parametru
Wydajność kotła		Mg/h	217,60
Moc energetyczna kotła		MW	152,18
Obciążenie cieplne kotła		%	94,61
Średni strumień paliwa		Mg/h	31,06
Strumień energii chemicznej		MW	167,95
Strumień energii pary		MW	209,27
Straty ciepła	wylotowa	MW %	11,38 6,78
	niezupełnego spalania	MW %	0,02 0,01
	niecałkowitego spalania w żużlu	MW %	0,51 0,30
	niecałkowitego spalania w popiele lotnym	MW %	2,81 1,67
	w fizycznym cieple żużla	MW %	0,13 0,08
	w fizycznym cieple popiołu lotnego	MW %	0,25 0,15
	do otoczenia (promieniowania i konwekcji)	MW %	0,67 0,40
	Sprawność energetyczna kotła (brutto)		%

TABELA 5. Udziały masowe składników mieszanki węglowej „B”

TABLE 5. Mass share of individual components in total blend „B” mass

Pozycja		Masa [Mg]	Udział masowy [%]	
składnik	sortyment		wg pomiaru masy rzecz.	w przeliczeniu na suchą masę
Węgiel KWK Wesola	miał	165	57,79	58,01
Węgiel	miał	120,5	42,21	41,99

TABELA 6. Właściwości fizykochemiczne składników mieszanki węglowej „B”

TABLE 6. Physicochemical properties of coal blend „B”

Pozycja	Symb.	Jedn.	Składnik mieszanki		Mieszanka „B”
			węgiel KWK Wesola	węgiel miał	
Wilgoć całkowita	W_t^r	%	12,20	12,60	12,37
Wilgoć analityczna	W^a	%	4,10	4,50	4,27
Popiół	A^a	%	28,10	22,60	25,78
Siarka całkowita	S_t^a	%	0,74	0,90	0,81
Siarka popiołowa	S_A^a	%	0,30	0,31	0,30
Siarka palna	S_C^a	%	0,44	0,59	0,50
Ciepło spalania	Q_s^a	kJ/kg	21 487	23 341	22 270
Wartość opałowa	Q_i^a	kJ/kg	20 587	22 371	21 340
Wartość opałowa	Q_i^r	kJ/kg	18 642	20 266	19 327

TABELA 7. Wyniki bilansu energetycznego kotła dla spalania węgla „B”

TABLE 7. Boiler energy balance components for coal blend „B” combustion

Pozycja		Jedn.	Wartość parametru
Wydajność kotła		Mg/h	208,30
Moc energetyczna kotła		kW	145,79
Obciążenie cieplne kotła		%	90,56
Średni strumień paliwa		Mg/h	25,89
Strumień energii chemicznej		MW	158,24
Strumień energii pary		MW	199,93
Straty ciepła	wylotowa	MW %	10,36 6,55
	niepełnego spalania	MW %	0,02 0,01
	niecałkowitego spalania w żużlu	MW %	0,05 0,03
	niecałkowitego spalania w popiele lotnym	MW %	1,20 0,76
	w fizycznym cieple żużla	MW %	0,06 0,04
	w fizycznym cieple popiołu lotnego	MW %	0,11 0,07
	do otoczenia (promieniowania i konwekcji)	MW %	0,65 0,41
Sprawność energetyczna kotła (brutto)		%	92,14

TABELA 8. Udziały masowe składników mieszanki „B” oraz trocin

TABLE 8. Mass share of individual components in total blend „B” mass

Pozycja		Masa [Mg]	Udział masowy [%]	
Składnik	Sortyment		wg pomiaru masy rzecz.	w przeliczeniu na suchą masę
Trociny	—	30,0	9,51	4,77
Węgiel KWK Wesola	miał	165,0	52,30	55,24
Węgiel	miał	120,5	38,19	39,99

TABELA 9. Właściwości fizykochemiczne składników mieszanki „B” oraz trocin

TABLE 9. Physicochemical properties of sawdust and coal blend „B” components

Pozycja	Symb.	Jedn.	Składnik mieszanki			Mieszanka
			węgiel KWK Wesola	węgiel miał	trociny	
Wilgoć całkowita	W_t^f	%	12,20	12,60	56,20	16,54
Wilgoć analityczna	W^a	%	4,10	4,50	8,60	4,68
Popiół	A^a	%	28,10	22,60	16,90	24,93
Siarka całkowita	S_t^a	%	0,74	0,90	0,04	0,73
Siarka popiołowa	S_A^a	%	0,30	0,31	0,04	0,28
Siarka palna	S_C^a	%	0,44	0,59	0,00	0,46
Ciepło spalania	Q_s^a	kJ/kg	21 487	23 341	16 356	21 707
Wartość opałowa	Q_i^a	kJ/kg	20 587	22 371	15 189	20 755
Wartość opałowa	Q_i^f	kJ/kg	18 642	20 266	6 007	18 061

W celu określenia wpływu współspalania biomasy na poszczególne elementy tworzące bilans energetyczny kotła, analizie poddano zmiany poszczególnych pozycji bilansu. W analizie porównawczej uwzględniono sprawność energetyczną kotła oraz wyznaczone składowe strat energetycznych. Wyniki porównania względnej efektywności współspalania wyłoków oraz trocin z węglem przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

Dla określenia tzw. charakterystyk efektywności emisyjnej współspalania węgla i biomasy posłużono się średnimi wielkościami stężeń zanieczyszczeń substancji takich jak: CO, SO₂, NO₂ oraz pył. Wielkości te przeliczono następnie na wskaźniki emisji zanieczyszczeń,

TABELA 10. Zestawienie pozycji bilansu energetycznego kotła dla spalania węgla „B” i trocin

TABLE 10. Boiler energy balance components for sawdust and coal blend „B” co-firing

Pozycja		Jedn.	Wartość parametru
Wydajność kotła		Mg/h	201,70
Moc energetyczna kotła		kW	141,51
Obciążenie cieplne kotła		%	87,69
Średni strumień paliwa		Mg/h	24,38
Strumień energii chemicznej		MW	154,09
Strumień energii pary		MW	193,98
Straty ciepła	wylotowa	MW %	10,37 6,73
	niepełnego spalania	MW %	0,01 0,01
	niecałkowitego spalania w żużlu	MW %	0,13 0,09
	niecałkowitego spalania w popiele lotnym	MW %	1,25 0,81
	w fizycznym cieple żużla	MW %	0,07 0,04
	w fizycznym cieple popiołu lotnego	MW %	0,12 0,08
	do otoczenia (promieniowania i konwekcji)	MW %	0,64 0,42
	Sprawność energetyczna kotła (brutto)		%

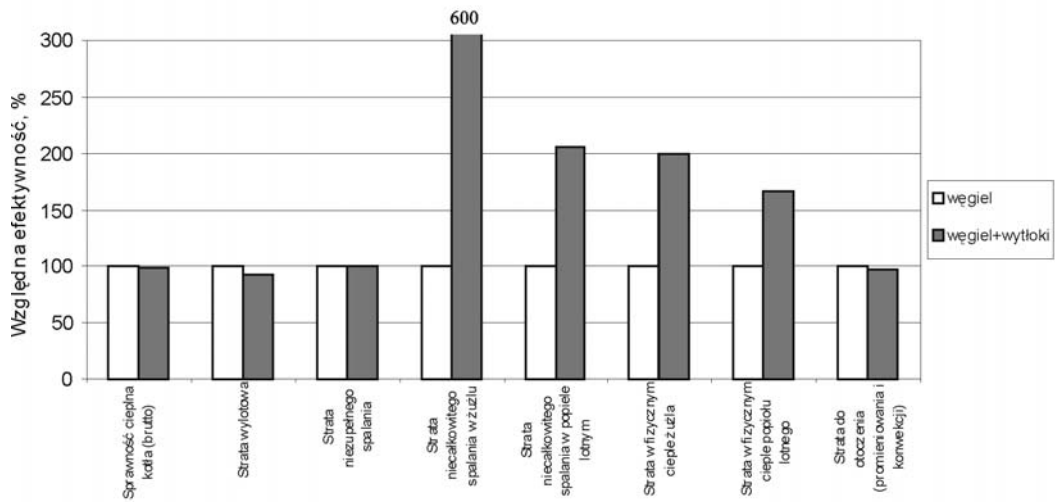
TABELA 11. Porównanie wartości emisji podczas współspalania węgla i biomasy z wartościami dopuszczalnymi

TABLE 11. Comparison of calculated emission indices with the permitted limits

Składnik emisji	Jedn.	Wartość parametru**				Wartość dopuszczalna*
		węgiel „A”	węgiel „A” + + wytloki	węgiel „B”	węgiel „B” + + trociny	
Stężenie CO	mg/m ³	1 964,0	1 833,5	1 988,1	1 759,5	2 350
Stężenie SO ₂	mg/m ³	511,7	503,8	510,7	454,5	600
Stężenie pyłu	mg/m ³	91,7	96,8	67,0	40,0	350

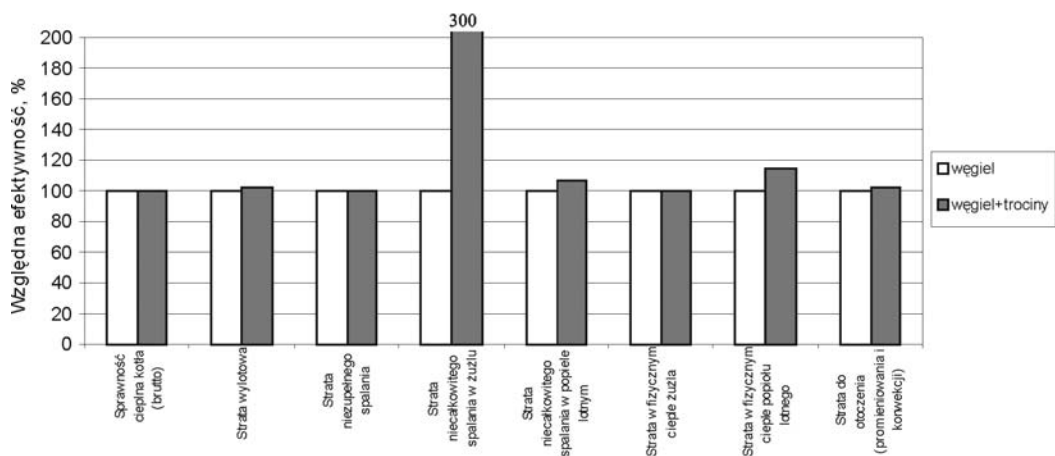
* Według Dz.U. nr 163, poz 1584, [4].

** Wartość w przeliczeniu na 6% O₂.



Rys. 1. Względna efektywność energetyczna współpalania węgla i wytlóków

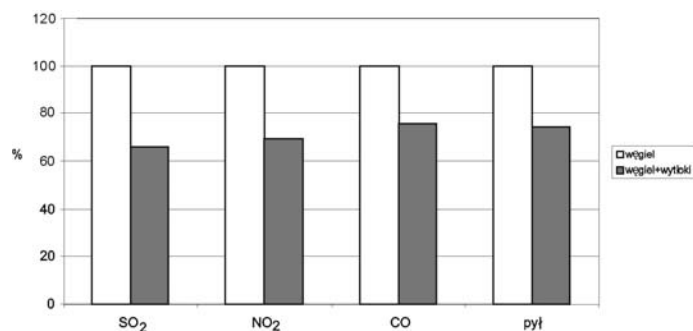
Fig. 1. Relative energy characteristics of coal and coffee shells co-firing



Rys. 2. Względna efektywność energetyczna współpalania węgla i trocin

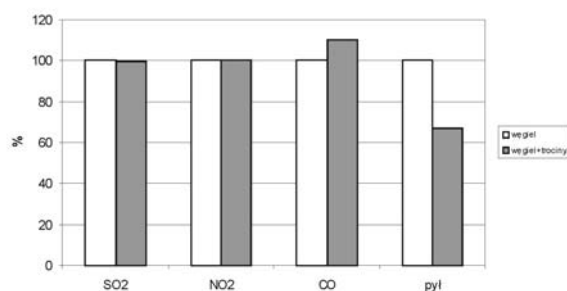
Fig. 2. Relative energy characteristics of coal and sawdust co-firing

dla których określono względną efektywność emisyjną. Rezultaty zilustrowano na rysunkach 3 i 4. Porównano także wartości emisji zanieczyszczeń z dopuszczalnymi standardami według Dz.U. nr 163, poz 1584., co przedstawiono na rysunkach 5–6.



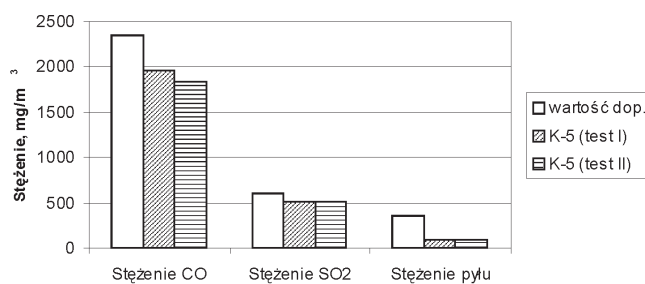
Rys. 3. Względna efektywność emisyjna współpalania węgla i wytłoków

Fig. 3. Relative emission characteristics of coal and coffee shells co-firing



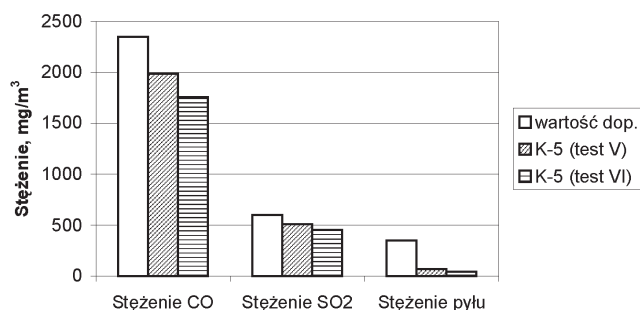
Rys. 4. Względna efektywność emisyjna współpalania węgla i trocin

Fig. 4. Relative emission characteristics of coal and sawdust co-firing



Rys. 5. Porównanie wartości emisji podczas spalania węgla oraz współpalania węgla i wytłoków z wartościami dopuszczalnymi

Fig. 5. Comparison of calculated emission indices during coal combustion and coal and coffee shells co-firing with the permitted limits



Rys. 6. Porównanie wartości emisji podczas spalania węgla oraz współspalanie węgla i trocin z wartościami dopuszczalnymi

Fig. 6. Comparison of calculated emission indices during coal combustion and coal and sawdust co-firing with the permitted limits

Wartości uzyskane w trakcie pomiarów oraz wyniki umożliwiają przeprowadzenie analizy porównawczej efektów energetycznych i emisyjnych spalania paliwa podstawowego oraz współspalania biomasy. Na podstawie przeprowadzonych badań współspalania węgla i biomasy w kotłach OP-230 i OP-210 stwierdzono, że:

- 1) współspalanie mieszanek węgla z dodatkiem masowym 6,6% wyłoków lub 9,5% trocin nie powoduje zakłóceń w stabilności pracy kotła oraz systemów podawania paliwa;
- 2) istniejące systemy podawania paliwa do kotła oraz układ młynowy zapewniają uzyskanie homogenicznej mieszanki węglowo-biomasowej stanowiącej podstawowy warunek dla poprawnej i niezakłóconej pracy palników pyłowych;
- 3) w przypadku współspalania trocin drzewnych z węglem uzyskano sprawność energetyczną kotła na praktycznie niezmienionym poziomie (różnica wynosi ok. 0,3 punktu procentowego) w porównaniu do testów spalania węgla. Wyznaczone straty energetyczne obu kotłów utrzymywały się na zbliżonym poziomie, za wyjątkiem strat niecałkowitego spalania, gdzie uzyskano wartość 3-krotnie wyższą;
- 4) w przypadku współspalania wyłoków z węglem sprawność energetyczna kotłów obniżyła o około 0,62 punktu procentowego, natomiast wylotowa strata fizyczna utrzymywała się na zbliżonym poziomie w porównaniu do spalania węgla bazowego. Pozostałe straty związane z niecałkowitym spalaniem paliwa oraz entalpią fizyczną popiołu i żużla uległy zwiększeniu, co może wskazywać na wpływ niejednorodności uzyskanego przemiału mieszanki;
- 5) dodatek wyłoków do węgla spowodował obniżenie emisji wszystkich analizowanych zanieczyszczeń, z wyjątkiem pyłu gdzie odnotowano wzrost wielkości emisji;
- 6) dodatek biomasy do węgla w postaci trocin spowodował zmniejszenie emisji pyłu (ok. 40%), zmniejszenie emisji SO₂ (ok. 11%) i CO (ok. 11%);
- 7) emisja NO₂ w trakcie współspalania pozostawała praktycznie na niezmienionym poziomie w porównaniu do spalania węgla bazowych;
- 8) wielkość emisji zanieczyszczeń do otoczenia podczas spalania węgla oraz współspalania węgla i biomasy w postaci wyłoków z kawy oraz trocin spełnia wymagania określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dn. 4 sierpnia 2003 r (Dz.U. nr 163, poz. 1584) [3].

Bilansowanie energii odnawialnej powstającej w procesie współspalania

Z uwagi na znaczną różnicę pomiędzy ceną odnawialnej energii elektrycznej i ceną konwencjonalnej energii elektrycznej (średnia cena w 2002 r. to ok. 230 zł/MWh, 2003 r. — ok. 250 zł/MWh, 2004 — ok. 270 zł), sposób kwalifikowania obu rodzajów energii wytwarzanej w procesie współspalania, wymagał stworzenia jednoznacznych i spójnych procedur rozliczeniowych. W przeciwnym razie istniało prawdopodobieństwo wystąpienia nieuzasadnionych przypadków zakwalifikowania energii pochodzącej ze spalania paliw konwencjonalnych jako pochodzącej z paliw odnawialnych. Oprócz nieuzasadnionego uzyskiwania zwiększonych przychodów, fakt taki utrudniłby sprzedaż prawdziwej energii odnawialnej (zwiększenie konkurencyjności).

Następstwem opisanej sytuacji może być statystyczny wzrost produkcji energii elektrycznej z paliw odnawialnych, podczas gdy w rzeczywistości byłaby to energia z paliw konwencjonalnych. Oprócz braku oczekiwanych pozytywnych skutków społecznych i ekologicznych sytuacja taka mogłoby doprowadzić do wzrostu cen energii elektrycznej.

Uwzględniając wyżej wymienione uwarunkowania, bardzo ważne staje się określenie jednoznacznych i wiarygodnych algorytmów bilansowania energii odnawialnej [6].

Źródło, w którym następuje współspalanie paliwa konwencjonalnego (węgiel kamienny i paliw biomasowych (trociny drzewne, wycieki z produkcji kawy zbożowej)) nie jest w całości odnawialnym źródłem energii. Zgodnie z zapisami [3], do energii z odnawialnych źródeł zaliczana jest część energii elektrycznej i ciepła produkowana w jednostkach wytwórczych (wyodrębnionych zespołach urządzeń, służących do wytwarzania energii elektrycznej lub ciepła, opisanych za pomocą danych handlowych i technicznych) o charakterze mieszanym — wykorzystujących w procesie współspalania biomasę lub biogaz i inne rodzaje paliw konwencjonalnych.

Analizowana elektrownia jest uciepłwnioną elektrownią kolektorową, w której produkcja energii odnawialnej (energii elektrycznej i ciepła grzejnego) jest realizowana w procesie współspalania biomasy i paliwa konwencjonalnego w pięciu kotłach energetycznych typu OP-230.

Ze względu na istniejący kolektorowy układ połączeń pomiędzy jednostkami spalającymi przyjęto traktowanie wszystkich kotłów jako jednej jednostki spalającej. Dla celów dokonania podziału całej wielkości produkcji energii elektrycznej, wytwarzanej w trakcie współspalania, na część odnawialną i konwencjonalną należy zastosować bezpośrednio zależność w formie przedstawionej w rozporządzeniu o obowiązku zakupu :

$$E_o = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Bi} W_{Bi}}{\sum_{i=1}^n M_{Bi} W_{Bi} + \sum_{j=1}^m M_{Kj} W_{Kj}} E \quad (1)$$

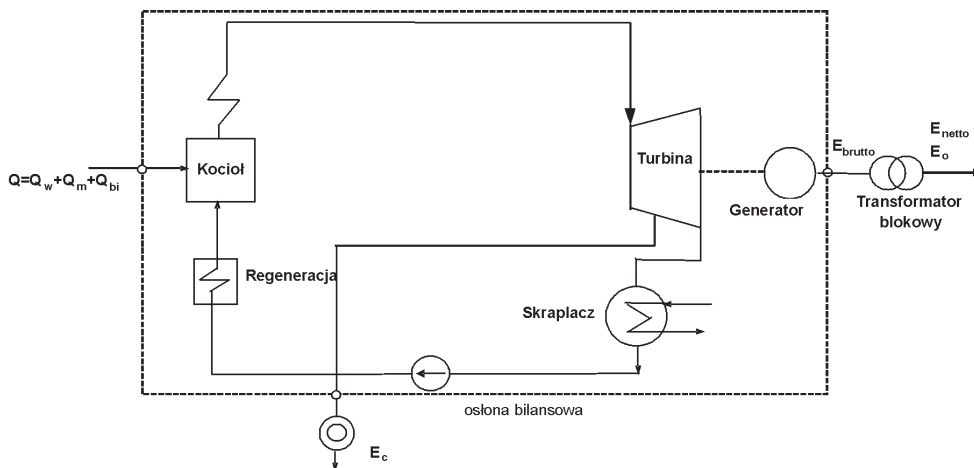
- gdzie: E_o — ilość energii elektrycznej lub ciepła zaliczonych do energii wytwarzanej z odnawialnych zasobów energii [MW·h lub GJ],
 E — ilość energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych w jednostce wytwórczej, w której spalane są paliwa odnawialne wspólnie z paliwami konwencjonalnymi [MW·h, GJ],
 M_{Bi} — masa spalonego w jednostce wytwórczej paliwa odnawialnego [Mg],
 M_{Kj} — masa spalonego w jednostce wytwórczej paliwa konwencjonalnego [Mg],
 W_{Bi} — wartość opałowa spalonego paliwa odnawialnego [MJ/Mg],
 W_{Kj} — wartość opałowa spalonego paliwa konwencjonalnego [MJ/Mg],
 m — liczba rodzajów innych paliw spalanych w jednostce wytwórczej,
 n — liczba rodzajów biomasy spalanej w jednostce wytwórczej.

Z uwagi na omówiony wcześniej kolektorowy układ połączenia wszystkich kotłów energetycznych, dla celów bilansowania energii odnawialnej dokonano uproszczenia istniejącego schematu ciepłego elektrowni, zastępując wszystkie kotły oraz turbozespoły jedną odpowiednią jednostką (rys. 7).

Adaptując zależność (1) dla istniejącego układu elektrowni można zapisać:

$$E_o = \frac{M_B W d_B}{M_B W d_B + M_w W d_w + M_M W d_M} E \quad (2)$$

- gdzie: E_o — ilość energii elektrycznej lub ciepła zaliczonych do energii wytwarzanej z odnawialnych zasobów energii [MW·h lub GJ],
 E — ilość energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych w jednostce wytwórczej, w której spalane są paliwa odnawialne wspólnie z paliwami konwencjonalnymi [MW·h, GJ],
 M_B — masa spalonej w jednostce wytwórczej biomasy zmierzona wagą taśmociągową [Mg],
 M_w — masa spalonego w jednostce wytwórczej węgla zmierzona wagami taśmociagowymi [Mg],
 M_M — masa spalonego w jednostce wytwórczej mazutu [Mg],



Rys. 7. Uproszczony schemat bilansowy dla wyznaczenia wielkości produkcji odnawialnej energii elektrycznej

Fig. 7. Simplified plant diagram for calculating the renewable energy share

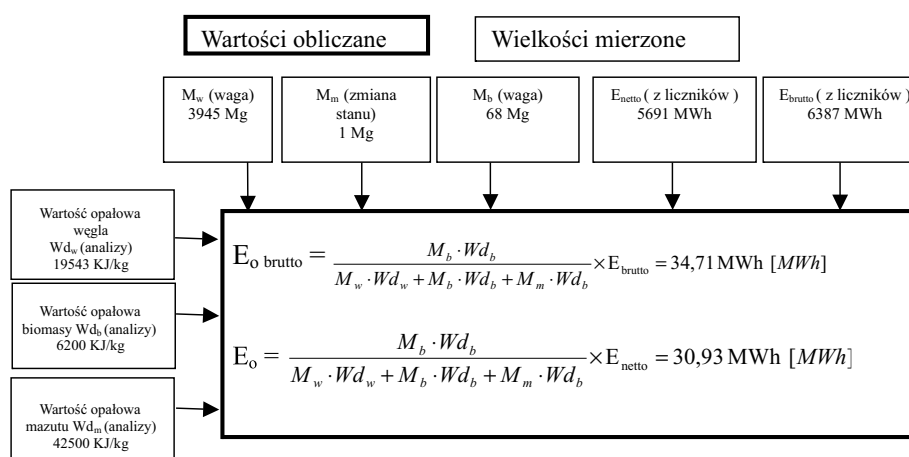
- Wd_b — wartość opałowa spalanej biomasy [MJ/Mg],
 Wd_w — wartość opałowa spalonego węgla [MJ/Mg],
 Wd_m — wartość opałowa spalonego mazutu [MJ/Mg].

Wykorzystując zależność (2) oraz dane z okresu jednej doby, kiedy realizowano proces współspalania mieszanki węgla kamiennego z biomasą (ujęte w tab. 16) wyznaczono wielkość produkcji energii odnawialnej w elektrowni w okresie 24 godzin. Graficzną interpretację algorytmu obliczeń zaprezentowano na rysunku 8.

TABELA 12. Zestawienie danych produkcyjnych z okresu 24 godzin

TABLE 12. Production data from the period of 24 hours of plant operation

Wartość opałowa węgla	kJ/kg	19 543
Wartość opałowa biomasy	kJ/kg	6 200
Wartość opałowa mazutu	kJ/kg	42 500
Zużycie węgla kamiennego	Mg	3 945
Zużycie biomasy	Mg	68
Zużycie mazutu	Mg	1
Energia chemiczna z węgla kamiennego	GJ	77 097
Energia chemiczna z biomasy	GJ	422
Energia chemiczna z mazutu	GJ	43
Energia chemiczna całkowita paliwa	GJ	77 561
Sprzedaż energii elektrycznej Entto	MW·h	5 691
Sprzedaż energii odnawialnej Entto odn.	MW·h	30,93



Rys. 8. Graficzna ilustracja algorytmu obliczania wielkości produkcji odnawialnej energii elektrycznej

Fig. 8. Graphic presentation of the renewable energy share calculation algorithm

Podsumowanie i wnioski

W referacie przedstawiono wyniki badań procesu współspalania węgla kamiennego i biomasy w parowym kotle pyłowym typu OP-230 pracującym w jednej z krajowych elektrowni systemowych.

Po przeprowadzeniu pomiarów energetyczno-emisyjnych oraz wykonaniu obliczeń bilansowych stwierdzono, że współspalanie węgla i biomasy w postaci wytlóków w ilości 6,6% (masowo) lub trocin drzewnych w ilości 9,5% (masowo) w nie wpływa negatywnie na efektywność energetyczną oraz emisyjną eksploatowanego kotła OP-230.

Wyznaczone wielkości emisji substancji towarzyszących procesowi spalania węgla oraz współspalania węgla z wytlókami oraz trocinami spełniają wszystkie wymagania standardów emisyjnych określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dn. 4 sierpnia 2003 r., (Dz.U. nr 163, poz. 1584).

We wszystkich przypadkach zaobserwowano pozytywny efekt współspalania polegający na zmniejszeniu emisji substancji szkodliwych do atmosfery. Z uwagi na fakt, iż prowadzone badania obejmowały jedynie wielkości emisji towarzyszącej procesowi spalania, celowym wydaje się aby dalszych pracach podjąć próbę oceny wielkości emisji towarzyszącej wszystkim procesom związanym z pozyskiwaniem biomasy, jej transportem i przygotowaniem. Wydaje się, że dobrym narzędziem do tego rodzaju analizy mógłby być tzw. rachunek skumulowany [7] bądź popularna obecnie w Europie analiza pełnego cyklu życia danego produktu (ang. *LCA — Life Cycle Assessment*).

Posiadane informacje o prowadzonych badaniach w tym zakresie wykazują [1], że nawet przy uwzględnieniu wielkości skumulowanej energochłonności oraz skumulowanej emisji dla całego łańcucha pozyskania i przetworzenia biomasy, jej energetyczne wykorzystanie w procesie współspalania pociąga za sobą mniejsze zużycie energii na pozyskanie tego paliwa oraz wpływa na zmniejszenie emisji substancji szkodliwych do atmosfery w całym analizowanym okresie.

Literatura

- [1] CHRISTIANSEN H.F., 1997 — *LCA of Procurement and Conversion of Biomass and Fossil Fuels — used for Energy Production in Denmark* .
- [2] Dyrektywa 2001/77WE Parlamentu Europejskiego z dnia 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych.
- [3] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 9 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych w z odnawialnych źródłach energii (Dz. U 267/2656/2004).
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 4 sierpnia 2003 r., (Dz.U. nr 163, poz 1584).
- [5] ŚCIAŻKO M., ZUWAŁA J., POPOWICZ J., ZAGÓRSKI T. — Propozycje procedury certyfikowania instalacji do rozliczeń handlowych energii ze źródeł odnawialnych — Opracowanie IChPW dla TGPE, t. II (praca niepubl.).

- [6] ŚCIAŻKO M., ZUWAŁA J., TRAMER A., WINNICKA G., ZAGÓRSKI T., CIELECKI S. — Propozycje procedur rozliczania energii ze źródeł odnawialnych — Opracowanie IChPW dla TGPE, t. I (praca niepubl.).
- [7] SZARGUT J., ZIĘBIK A., 1998 — Podstawy energetyki cieplnej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Jarosław ZUWAŁA, Piotr HRYCKO

Energy and ecological effects of biomass co-firing in OP-230 pulverised coal boiler

Abstract

Paper presents the analysis of energy and ecological effects of biomass co-firing in pulverized coal boiler OP-230 type. The analysis was based on the results of energy and emission co-firing tests carried out in one of Polish power plants. The influence of biomass co-firing on the individual elements of boiler energy balance (e.g. stack losses and boiler thermal efficiency) was discussed comparing to combustion of coal alone. The emission indices during coal combustion were calculated and compared to the emission indices for biomass co-firing. It was shown, that biomass co-firing leads to decreasing of CO and SO₂ emissions. Due to the possibility of considering a part of energy generated during co-firing as renewable energy, the procedure for renewable energy share calculation was presented and illustrated with an example.

KEY WORDS: co-firing of biomass, boiler efficiency, energy and ecological effects, renewable energy