

Andrzej KROWIAK*, Krzysztof STAŃCZYK**, Marek BIENIECKI***

Korzyści ekonomiczne z handlu uprawnieniami do emisji CO₂ przy spalaniu w energetyce zawodowej mieszanek węgla z komponentami organicznymi

STRESZCZENIE. W artykule tym przedstawiono metodę analizy oraz przykładowe wyniki obliczeń efektów ekonomicznych wynikających z możliwości handlu uprawnieniami do emisji dwutlenku węgla przy spalaniu przez energetykę zawodową mieszanek paliwowych węgla i biokomponentów. Obliczenia wykonano dla wybranych biokomponentów, zmiennego udziału biokomponentów w mieszance paliwowej oraz zmiennej ich wilgotności – w przeliczeniu na 1 GJ energii użytkowej.

SŁOWA KLUCZOWE: ekonomia, kocioł, emisja, studium

Wprowadzenie

Tak energetyka zawodowa jak i przemysłowa coraz częściej w procesach energetycznego spalania stosuje mieszanki paliwowe, w których paliwem podstawowym jest węgiel kamienny a dodatkiem biomasa. Interesujące, a w świetle uregulowań prawnych koniecznym staje się wykorzystanie do produkcji mieszanek paliwowych biomasy z upraw roślin energetycznych.

* Dr inż., ** Doc. dr inż., *** Mgr inż. — Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
e-mail: a.krowiak@gig.katowice.pl; k.stanczyk@gig.katowice.pl; m.bieniecki@gig.katowice.pl

Recenzent: dr hab. inż. Mariusz KUDELKO

Dodatek biomasy ma za zadanie ograniczenie ilości zużywanego węgla, a jednocześnie ograniczenie uciążliwego oddziaływania na środowisko. Współspalanie biomasy wymaga przy tym rozwiązania szeregu problemów wiążących się z jej dużą objętością i zawartością wilgoci. Poważnym wyzwaniem jest także magazynowanie biomasy ze względu na niebezpieczeństwo podnoszenia się temperatury wewnątrz przyzmy i zachodzące w niej reakcje chemiczne. Do celów rozliczeniowych konieczne jest każdorazowo opracowanie i wdrożenie procedur pomiarowych ilości i wartości spalanej biomasy. Przeprowadzone próby dowodzą, że w przypadku kotłów rusztowych dla współspalania biomasy z węglem kamiennym do około 20% udziału energetycznego biomasy w całkowitym strumieniu energii paliwa podawanego do kotła nie są konieczne zmiany konstrukcyjne w istniejących obiektach.

Korzyści energetyki zawodowej ze współspalania węgla i biomasy, w kontekście handlu uprawnieniami do emisji, upatruje się w pomijaniu w bilansie emisji dwutlenku węgla tej ilości, która wynika ze spalania biopaliw. Uzyskane nadwyżki w uprawnieniach do emisji CO₂ mogą być sprzedawane innym producentom ciepła i energii elektrycznej (w tym: zagranicznym) po umownej cenie.

W artykule przedstawiono metodę obliczania efektów uzyskiwanych przy spalaniu mieszanek paliwowych z udziałem węgla oraz komponentów biologicznych: słomy, miskańta olbrzymiego, drewna bukowego oraz ślazuwca patemi.

Efektom finalnym analiz symulacyjnych jest efekt ekonomiczny uwzględniający potencjalne korzyści ze sprzedaży uprawnień do emisji CO₂.

Obliczenia prowadzono dla typowego kotła przemysłowego typu rusztowego. Przyjęto dwie ceny umowne CO₂: cena *spot* (aktualna) – 6,5 euro/Mg oraz cena *future* – 17,25 euro/Mg (prognozowana od 1 stycznia 2008 roku). Analizę wpływu dodatku poszczególnych komponentów prowadzono przy założonych udziałach masowych biomasy w mieszance paliwowej, w zakresie od 0 do 20% oraz założonej zawartości wilgoci w biomacie od 0 do 60% z podziałką co 10%.

1. Metoda obliczeń

Na wynik finalny obliczeń czyli efektu ekonomicznego liczonego w euro na 1GJ mocy użytkowej mają wpływ następujące zmienne:

- ✧ *wartość opałowa mieszanki paliwowej* wynikająca ze składu chemicznego komponentów, zawartości wilgoci oraz proporcji składników w mieszance,
- ✧ *sprawność techniczna kotła* zależna od składu mieszanki paliwowej oraz zawartości wilgoci,
- ✧ *emisja dwutlenku węgla* zależna od składu chemicznego komponentów i proporcji ich udziału w mieszance paliwowej,
- ✧ *umowne ceny transakcyjne* w handlu uprawnieniami do emisji dwutlenku węgla.

Dane źródłowe do obliczeń dotyczące składu chemicznego komponentów zawarte są w tabeli 1.

TABELA 1. Własności węgla kamiennego oraz wybranych rodzajów biomasy

TABLE 1. Properties of hard coal and selected kinds of biomass

Parametr	Węgiel kamienny	Słoma	Miskant olbrzymi	Drewno bukowe	Śluzowiec petemi
Zawartość wilgoci [%]	12,8	10,8	7,6	-	-
Zawartość części lotnych [%]	-	74,4	78,2	83,2	83,5
Zawartość popiołu ¹ [%]	13,0	6,1	4,9	0,34	5,43
Stała masa palna ¹ [%]	-	19,9	17,0	16,5	10,07
Analiza elementarna ¹ [%]					
Węgiel c	62,90	47,4	50,7	48,7	47,82
Wodór h	4,92	4,5	4,4	5,7	6,15
Azot	1,50	0,4–0,8	0,08–0,51	0,13	0,13–0,21
Siarka	0,82	0,05–0,11	0,04–0,26	< 0,05	0,018
Chlor	0,18	0,4–0,73	0,15–0,25	< 0,1	0,016
Tlen	9,68	40,4	39,1	45,0	40,38

¹ W stanie suchym (dotyczy tylko pierwiastków wpływających na wielkość emisji zanieczyszczeń).

Źródło: J. Tchórz: Konferencja n-t „Współspalanie biomasy i paliw wtórnych w kotłach energetycznych”. Zakopane 12–14 maja 2004

1.1. Wartość opałowa mieszanki paliwowej

Przeliczeń składu masowego poszczególnych składników biomasy dokonano według następującego wzoru:

$$P^r = P^s \cdot (100 - W_c)/100$$

gdzie: P^s — zawartość popiołu, węgla, wodoru, siarki, tlenu w stanie suchym [%],
 P^r — zawartość popiołu, węgla, wodoru, siarki, tlenu w stanie roboczym [%],
 W_c — zawartość wilgoci w stanie roboczym [%].

Wartość opałową węgla i biomasy wyznaczano ze wzoru Dulonga [3]

$$W_d = 32\,800 \cdot c + 120\,040 \cdot (h - o/8) + 92\,360 \cdot s - 2500 \cdot w_c \quad [\text{kJ/kg}]$$

gdzie: c, h, o, s, w_c — odpowiednio zawartość (udział masowy) węgla (c), wodoru (h), tlenu (o), siarki (s) i wilgoci całkowitej (W_c) w węglu/biomasie [kg/kg].

1.2. Sprawność techniczna kotła

Sprawność cieplną (termiczną) brutto kotła można określić metodą bezpośrednią, w której dokonuje się pomiaru strumieni energii wytworzonej oraz dostarczonej do kotła lub

metodą pośrednią, w której dokonuje się pomiarów umożliwiających określenie poszczególnych strat cieplnych i wyznacza sprawność kotła z następującego wzoru ([1], [2]):

$$\eta = 100 - S_w - S_z - S_n - S_{ch} - S_p - S_{ot}$$

gdzie: S_w — strata wylotowa [%],
 S_z — strata niedopału w żużlu, przesypie i lotnym popiele [%],
 S_n — strata niepełnego spalania [%],
 S_{ch} — strata ciepła w wodzie chłodzącej [%],
 S_p — strata ciepła w fizycznym cieple żużla, popiołu lotnego i unoszonego [%],
 S_{ot} — strata ciepła do otoczenia [%].

Istotnymi z punktu widzenia wielkości sprawności cieplnej brutto kotła są straty ciepła: wylotowa i niedopału. Pozostałe straty zawierają się w granicach 2–3% i dla zobrazowania wpływu zastąpienia części węgla biomasa nie mają znaczenia. Dlatego też w dalszych obliczeniach wzięto pod uwagę jedynie wartości strat uznanych za istotne. Wykonane wstępnie obliczenia strat ciepła dla sprawności cieplnej nominalnej typowego kotła rusztowego (80,0%) przy założonych parametrach spalin, ich wielkości nominalnych, a jednocześnie optymalnych suma strat ciepła w wodzie chłodzącej, niepełnego spalania, do otoczenia i w cieple fizycznym żużla i lotnego pyłu wykazały, iż suma tych strat wynosi 2,46%. W przyjętej metodyce obliczenia wpływu biomasy na sprawność kotła założono iż jej zmiana będzie wynikiem zmiany zależnych od składu pierwiastkowego oraz zawartości popiołu w biomase w stosunku do tej części węgla, która została zastąpiona.

W pracy przyjęto, że analizie podlega kocioł rusztowy, do którego podawane paliwo oraz powietrze podmuchowe nie jest podgrzewane. W takim przypadku stratę ciepła wylotową oblicza się ze wzoru:

$$S_w = (V_{S_s} \cdot C_{p_s} + V_w \cdot C_{p_w}) \cdot (t_s - t_o) \cdot 100/Wd \quad [\%]$$

gdzie: V_{S_s} — objętość spalin suchych przeliczona na warunki normalne (273 K i 1013 kPa) [m³/kg],
 C_{p_s} — średnie ciepło właściwe spalin suchych przy stałym ciśnieniu w zakresie ($t_s - t_o$), przeliczone na warunki normalne [kJ/(m³·K)],
 V_w — objętość pary wodnej przeliczona na warunki normalne, w spalinach [m³/kg],
 C_{p_w} — średnie ciepło właściwe pary wodnej przy stałym ciśnieniu w zakresie ($t_s - t_o$), przeliczone na warunki normalne [kJ/(m³·K)],
 t_s — temperatura spalin za ostatnią powierzchnią ogrzewalną kotła [K],
 t_o — temperatura powietrza doprowadzonego do kotła [K],
 Wd — wartość opałowa jednostki paliwa [MJ/kg].

Do dalszych obliczeń przyjęto, że:

- ✧ poszczególne parametry mieszanki paliwowej zależą proporcjonalnie od udziałów węgla i biomasy,
- ✧ temperatura spalin za ostatnią powierzchnią ogrzewalną kotła wynosi 453 K (180°C),
- ✧ temperatura powietrza podawanego do kotła wynosi 288 K (15°C).

Objętość spalin wilgotnych w przeliczeniu na warunki normalne wyznaczano ze wzoru [4]:

$$V_{S_w} = 1,865 \cdot c + 0,7 \cdot s + 11,2 \cdot w_c + (4,76 \cdot \lambda - 14) \cdot O_{v \min} \quad [\text{m}^3_{\text{n}}/\text{kg}]$$

gdzie: V_{S_w} — objętość spalin wilgotnych z jednostki paliwa w warunkach normalnych [$\text{m}^3_{\text{n}}/\text{kg}$],
 λ — współczynnik nadmiaru powietrza za ostatnią powierzchnią ogrzewalną kotła,
 $O_{v \min}$ — teoretyczne zapotrzebowanie tlenu objętościowo przeliczona na warunki normalne.

$$O_{v \min} = 1,865 \cdot c + 5,58 \cdot h + 0,7 \cdot s - 0,7 \cdot o \quad [\text{m}^3_{\text{n}}/\text{kg}]$$

Objętość pary wodnej w spalinach przeliczona na warunki normalne wyznaczono ze wzoru:

$$V_W = (h/2 + w_c/18) \cdot 0,01 \cdot 22,4 + 1,61 \cdot \lambda \cdot O_{v \min} \cdot d \quad [\text{m}^3_{\text{n}}/\text{kg}]$$

gdzie: d — udział masy wody w powietrzu doprowadzonym do kotła [kg/kg].

Do obliczeń przyjęto udział masy wody w powietrzu podawanym do kotła na w ilości 0,01 kg/kg , co jest wartością średnią spotykaną w warunkach prowadzenia badań cieplnych kotłów.

Objętość spalin suchych w przeliczeniu na warunki normalne.

$$V_{S_s} = V_{S_w} - V_W \quad [\text{m}^3_{\text{n}}/\text{kg}]$$

Ciepło właściwe spalin suchych i pary wodnej i powietrza wyznaczono dla założonych temperatur i optymalnego składu spalin na wylocie z kotła (za ostatnią powierzchnią ogrzewalną) tj.; zawartość CO_2 12,00%; zawartość CO 0,15%; O_2 – 7,7% a uzupełnieniem do 100% jest azot. Wartość współczynnika nadmiaru powietrza przy powyższych założeniach dotyczących składu spalin suchych wynosi dla węgla 1,56, a dla biomasy 1,672. Przy współspalaniu węgla z biomasą osobne obliczenia wykonywane są dla spalania węgla oraz osobne dla biomasy. Stratę wylotową wyznacza się w takim przypadku jako sumę strat ciepła dla węgla i biomasy z odpowiednimi ich udziałami masowymi w mieszance paliwowej.

Wielkość strat niedopału w żużlu, przesypie i lotnym popiele zależy jest bezpośrednio od zawartości popiołu w masie paliwa oraz od zawartości części palnych w odpadach paleniskowych – żużlu, lotnym popiele i popiele unoszonym za urządzeniem odpylającym.

$$S_n = C_{sr}/(100 - C_{sr}) \cdot 3,18 \cdot A_r \cdot \alpha / (100 - 1,1 \cdot (A_r + W_r)) \cdot 33,87 \quad [\%]$$

gdzie: A_r — zawartość popiołu w węglu/biomacie w stanie roboczym paliwa [%],
 α — współczynnik kontrakcji uwzględniający zmniejszenie masy popiołu w trakcie spalania; dla węgla współczynnik ten przyjmuje wartość 0,9, a dla biomasy 0,65,
 W_r — zawartość wilgoci w paliwie, w stanie roboczym [%].

$$C_{sr} = a_z \cdot C_z + a_{lp} C_{lp}$$

gdzie: a_z — udział popiołu w żużlu i przesypie w masie popiołu w odpadach paleniskowych,
 a_{lp} — udział popiołu w lotnym popiele (a_{lp}),
 C_z — zawartość pierwiastka węgla w żużlu i przesypie [%].

Przy obliczaniu wielkości straty ciepła niedopału przyjęto zgodnie z danymi literaturowymi [4], że udział popiołu w żużlu i przesypie wynosi dla węgla 0,85, a dla biomasy 0,8. Udział popiołu w lotnym popiele przyjęto jako dopełnienie do 1.

Zawartość części palnych (pierwiastka węgla) w żużlu i przesypie przyjęto za danymi zawartymi w materiałach publikowanych przez Centrum Informatyki Energetyki [5] dla węgla przy spalaniu w rusztowych kotłach energetycznych – $C_z = 21,7\%$; $C_{lp} = 30,0\%$. Analogicznie dla biomasy $C_z = 15,0\%$ i $C_{lp} = 25,0\%$.

1.3. Emisja dwutlenku węgla

Wielkość emisji dwutlenku węgla wylicza się ze wzoru:

$$E_{CO_2} = 3,667 \cdot (c_r - c_{odp. pal.}) \quad [\text{Mg CO}_2/\text{Mg węgla}]$$

gdzie: c_r — zawartość pierwiastka węgla w paliwie [(kg C)/(kg paliwa w stanie roboczym)],
 $c_{odp. pal.}$ — zawartość pierwiastka węgla w odpadach paleniskowych [(kg C)/(kg paliwa)].

$$c_{odp. pal.} = \alpha \cdot A_r \cdot C_{sr} / (100 - C_{sr}) / 100$$

gdzie: α — współczynnik kontrakcji popiołu, dla węgla kamiennego = 0,9; dla biomasy 0,65,
 A_r — zawartość popiołu w paliwie roboczym [%],
 C_{sr} — zawartość pierwiastka węgla w mieszaninie żużla i lotnego popiołu.

2. Wyniki obliczeń

Dyrektywy Unii Europejskiej dopuszczają handel uprawnieniami do emisji dwutlenku węgla (odsprzedaż limitów emisji). Przyjmuje się, że przy spalaniu biomasy bilans emisji CO₂ równa się zero, gdyż dwutlenek węgla wyemitowany przy jej spalaniu jest absorbowany przez rośliny stanowiące później komponent mieszanki paliwowej. Wychodząc z tego założenia przy spalaniu mieszanki paliwowej zawierającej biokomponenty zmniejszamy bilansową emisję dwutlenku węgla stanowiącą podstawę do obliczania emisji wynikowej. Tą różnicę wielkości emisji możemy wystawić na sprzedaż.

Wartości opałowe w stanie roboczym 1 Mg mieszanki paliwowej dla różnych komponentów i w zależności od zawartości wilgoci w komponentach biologicznych oraz proporcji komponentów w mieszance podane są w tabeli 2.

TABELA 2. Wartość opałowa w stanie roboczym 1 Mg mieszanki paliwowej [GJ] (przykład obliczeń dla słomy)

TABLE 2. Heating value in working stage of 1 Mg fuel mixture [GJ] (example of calculation for straw)

Węgiel [kg]	1000	980	960	940	920	900	880	860	840	820	800
Biomasa [kg]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
z udziałem komponentu: słoma											
wilgotność 0%	24,000	23,820	23,640	23,460	23,280	23,100	22,919	22,739	22,559	22,379	22,199
wilgotność 10%	24,000	23,785	23,570	23,355	23,140	22,925	22,710	22,494	22,279	22,064	21,849
wilgotność 20%	24,000	23,750	23,500	23,250	23,000	22,750	22,500	22,250	21,999	21,749	21,499
wilgotność 30%	24,000	23,715	23,430	23,145	22,860	22,575	22,290	22,005	21,720	21,434	21,149
wilgotność 40%	24,000	23,680	23,360	23,040	22,720	22,400	22,080	21,760	21,440	21,120	20,799
wilgotność 50%	24,000	23,645	23,290	22,935	22,580	22,225	21,870	21,515	21,160	20,805	20,450
wilgotność 60%	24,000	23,610	23,220	22,830	22,440	22,050	21,660	21,270	20,880	20,490	20,100

Źródło: opracowanie własne

Sprawności techniczne kotła w zależności od składu mieszanki paliwowej i zawartości wilgoci oraz proporcji składników w mieszance podane są w tabeli 3.

TABELA 3. Sprawność energetyczna kotła dla różnych proporcji komponentów w mieszance paliwowej i różnych wilgotności komponentów [%] (przykład obliczeń dla słomy)

TABLE 3. Boiler energy efficiency for different fuel mixture and moisture [%] (example calculation for straw)

Węgiel [kg]	1000	980	960	940	920	900	880	860	840	820	800
Biomasa [kg]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
z udziałem komponentu: słoma											
wilgotność 0%	80,000	80,088	80,175	80,263	80,350	80,438	80,525	80,613	80,701	80,788	80,876
wilgotność 10%	80,000	80,079	80,157	80,236	80,314	80,393	80,471	80,550	80,628	80,707	80,785
wilgotność 20%	80,000	80,067	80,134	80,200	80,267	80,334	80,401	80,467	80,534	80,601	80,668
wilgotność 30%	80,000	80,051	80,102	80,152	80,203	80,254	80,305	80,355	80,406	80,457	80,508
wilgotność 40%	80,000	80,028	80,056	80,083	80,111	80,139	80,167	80,195	80,222	80,250	80,278
wilgotność 50%	80,000	79,992	79,984	79,976	79,968	79,960	79,952	79,944	79,937	79,929	79,921
wilgotność 60%	80,000	79,929	79,857	79,786	79,715	79,644	79,572	79,501	79,430	79,359	79,287

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4 zawiera wyliczone wartości energii użytkowej uzyskanej z 1 Mg mieszanki paliwowej – w zależności od rodzaju komponentów, proporcji komponentów w mieszance oraz zawartości wilgoci w biomasie.

TABELA 4. Energia użytkowa uzyskana z 1 Mg mieszanki paliwowej [GJ] (przykład obliczeń dla słomy)

TABLE 4. Useful energy in combustion of 1 Mg fuel mixture [GJ] (example calculation for straw)

Węgiel [kg]	1000	980	960	940	920	900	880	860	840	820	800
Biomasa [kg]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
z udziałem komponentu: słoma											
wilgotność 0%	19,200	19,077	18,953	18,829	18,705	18,581	18,456	18,331	18,205	18,080	17,954
wilgotność 10%	19,200	19,047	18,893	18,739	18,584	18,430	18,275	18,119	17,963	17,807	17,651
wilgotność 20%	19,200	19,016	18,831	18,646	18,461	18,276	18,090	17,904	17,717	17,530	17,343
wilgotność 30%	19,200	18,984	18,768	18,551	18,334	18,117	17,900	17,682	17,464	17,245	17,027
wilgotność 40%	19,200	18,951	18,701	18,451	18,201	17,951	17,701	17,450	17,199	16,948	16,697
wilgotność 50%	19,200	18,914	18,628	18,342	18,057	17,771	17,485	17,200	16,914	16,629	16,343
wilgotność 60%	19,200	18,871	18,543	18,215	17,888	17,561	17,235	16,910	16,585	16,260	15,936

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 5 podano korzyści finansowe (dla cen „spot”) wynikające ze spalania 1 Mg mieszanek paliwowych z udziałem różnych biokomponentów, z uwzględnieniem proporcji węgla i komponentu w mieszance oraz wilgotności biokomponentu. Analogiczne obliczenia dla cen „future” zawarte są w tabeli 6.

Wartości korzyści ekonomicznych wynikające z handlu emisją dwutlenkiem węgla w przeliczeniu na 1 GJ energii użytkowej zawarte są dla cen „spot” w tabeli 7, a dla cen „future” w tabeli 8.

Przeprowadzono również dodatkowe, przykładowe obliczenia porównawcze relacji korzyści ekonomicznych z handlu emisjami CO₂ do kosztów produkcji energii użytkowej. Koszty produkcji energii użytkowej w oparciu o mieszanki paliwowe wyliczono dla umownie przyjętych kosztów pozyskania komponentów: węgla kamiennego – 50 euro/Mg, słomy – 19,21 euro/Mg, miskańta olbrzymiego – 20,0 euro/Mg, drewna bukowego – 22,5 euro/Mg, ślazuwca petemi – 22,89 euro/Mg. Wyniki relacji procentowych korzyści ekonomicznych z handlu emisjami dla cen *spot*, z uwzględnieniem zmian proporcji składników w mieszance paliwowej oraz wilgotności biokomponentów zawiera tabela 9. Analogiczne obliczenia dla cen *future* w handlu emisjami przedstawiono w tabeli 10.

TABELA 5. Korzyści z handlu emisją CO₂ przy spalaniu 1Mg mieszanki paliwowej – dla ceny spot [euro]

TABLE 5. Profits from CO₂ trade in combustion of 1 Mg fuel mixture for spot price [euro]

Węgiel [kg]	1000	980	960	940	920	900	880	860	840	820	800
Biomasa [kg]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
z udziałem komponentu: słoma											
wilgotność 0%	0,0000	0,1988	0,3974	0,5957	0,7937	0,9916	1,1892	1,3865	1,5836	1,7805	1,9772
wilgotność 10%	0,0000	0,1758	0,3513	0,5266	0,7016	0,8764	1,0509	1,2252	1,3992	1,5729	1,7464
wilgotność 20%	0,0000	0,1523	0,3044	0,4561	0,6077	0,7590	0,9100	1,0608	1,2113	1,3616	1,5116
wilgotność 30%	0,0000	0,1281	0,2559	0,3835	0,5109	0,6381	0,7650	0,8918	1,0183	1,1446	1,2706
wilgotność 40%	0,0000	0,1026	0,2050	0,3073	0,4094	0,5114	0,6133	0,7151	0,8167	0,9182	1,0195
wilgotność 50%	0,0000	0,0748	0,1496	0,2244	0,2993	0,3743	0,4493	0,5243	0,5994	0,6745	0,7497
wilgotność 60%	0,0000	0,0420	0,0845	0,1274	0,1707	0,2144	0,2586	0,3031	0,3482	0,3936	0,4394
z udziałem komponentu: mискant olbrzymi											
wilgotność 0%	0,0000	0,2137	0,4271	0,6403	0,8532	1,0659	1,2784	1,4907	1,7027	1,9144	2,1260
wilgotność 10%	0,0000	0,1895	0,3787	0,5676	0,7563	0,9447	1,1329	1,3208	1,5084	1,6957	1,8828
wilgotność 20%	0,0000	0,1649	0,3294	0,4937	0,6578	0,8215	0,9850	1,1481	1,3110	1,4737	1,6360
wilgotność 30%	0,0000	0,1395	0,2788	0,4178	0,5566	0,6951	0,8333	0,9713	1,1090	1,2464	1,3836
wilgotność 40%	0,0000	0,1131	0,2260	0,3387	0,4512	0,5635	0,6756	0,7876	0,8993	1,0108	1,1221
wilgotność 50%	0,0000	0,0846	0,1692	0,2537	0,3382	0,4226	0,5070	0,5913	0,6755	0,7597	0,8438
wilgotność 60%	0,0000	0,0518	0,1039	0,1562	0,2089	0,2617	0,3149	0,3683	0,4220	0,4759	0,5301
z udziałem komponentu: drewno bukowe											
wilgotność 0%	0,0000	0,2188	0,4373	0,6555	0,8734	1,0910	1,3082	1,5252	1,7419	1,9582	2,1743
wilgotność 10%	0,0000	0,1947	0,3890	0,5829	0,7766	0,9698	1,1627	1,3553	1,5475	1,7393	1,9309
wilgotność 20%	0,0000	0,1701	0,3398	0,5092	0,6781	0,8467	1,0149	1,1827	1,3502	1,5172	1,6839
wilgotność 30%	0,0000	0,1449	0,2894	0,4335	0,5772	0,7206	0,8635	1,0061	1,1483	1,2901	1,4315
wilgotność 40%	0,0000	0,1186	0,2368	0,3547	0,4722	0,5894	0,7063	0,8228	0,9390	1,0548	1,1703
wilgotność 50%	0,0000	0,0903	0,1804	0,2702	0,3598	0,4492	0,5384	0,6274	0,7161	0,8047	0,8930
wilgotność 60%	0,0000	0,0578	0,1157	0,1736	0,2316	0,2897	0,3479	0,4061	0,4645	0,5228	0,5813
z udziałem komponentu: ślázowiec patemi											
wilgotność 0%	0,0000	0,2250	0,4497	0,6743	0,8986	1,1228	1,3467	1,5704	1,7940	2,0173	2,2404
wilgotność 10%	0,0000	0,1997	0,3992	0,5984	0,7974	0,9961	1,1946	1,3929	1,5909	1,7887	1,9862
wilgotność 20%	0,0000	0,1740	0,3478	0,5213	0,6946	0,8676	1,0403	1,2128	1,3850	1,5569	1,7286
wilgotność 30%	0,0000	0,1477	0,2952	0,4424	0,5894	0,7361	0,8825	1,0287	1,1747	1,3204	1,4658
wilgotność 40%	0,0000	0,1204	0,2405	0,3605	0,4802	0,5998	0,7191	0,8383	0,9572	1,0760	1,1945
wilgotność 50%	0,0000	0,0911	0,1822	0,2731	0,3640	0,4548	0,5456	0,6362	0,7268	0,8174	0,9078
wilgotność 60%	0,0000	0,0579	0,1161	0,1744	0,2330	0,2917	0,3507	0,4099	0,4694	0,5290	0,5888

Źródło: opracowanie własne

TABELA 6. Korzyści z handlu emisją CO₂ przy spalaniu 1Mg mieszanki paliwowej – dla ceny future [euro]

TABLE 6. Profits from CO₂ trade in combustion of 1 Mg fuel mixture for future price [euro]

Węgiel [kg]	1000	980	960	940	920	900	880	860	840	820	800
Biomasa [kg]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
z udziałem komponentu: słoma											
wilgotność 0%	0,0000	0,5276	1,0545	1,5808	2,1065	2,6315	3,1559	3,6796	4,2028	4,7252	5,2471
wilgotność 10%	0,0000	0,4665	0,9324	1,3976	1,8620	2,3258	2,7890	3,2514	3,7132	4,1742	4,6346
wilgotność 20%	0,0000	0,4042	0,8077	1,2105	1,6127	2,0142	2,4150	2,8152	3,2146	3,6134	4,0115
wilgotność 30%	0,0000	0,3398	0,6791	1,0178	1,3559	1,6934	2,0303	2,3666	2,7023	3,0375	3,3721
wilgotność 40%	0,0000	0,2722	0,5440	0,8155	1,0866	1,3573	1,6277	1,8977	2,1673	2,4366	2,7056
wilgotność 50%	0,0000	0,1984	0,3970	0,5956	0,7944	0,9933	1,1923	1,3914	1,5907	1,7900	1,9895
wilgotność 60%	0,0000	0,1116	0,2242	0,3380	0,4530	0,5690	0,6862	0,8045	0,9239	1,0445	1,1662
z udziałem komponentu: mискant olbrzymi											
wilgotność 0%	0,0000	0,5670	1,1334	1,6992	2,2643	2,8288	3,3927	3,9560	4,5186	5,0806	5,6420
wilgotność 10%	0,0000	0,5029	1,0050	1,5064	2,0072	2,5072	3,0065	3,5051	4,0030	4,5002	4,9967
wilgotność 20%	0,0000	0,4375	0,8743	1,3103	1,7456	2,1801	2,6139	3,0470	3,4793	3,9109	4,3417
wilgotność 30%	0,0000	0,3703	0,7400	1,1089	1,4771	1,8447	2,2115	2,5777	2,9431	3,3079	3,6719
wilgotność 40%	0,0000	0,3002	0,5998	0,8989	1,1975	1,4956	1,7931	2,0900	2,3865	2,6824	2,9778
wilgotność 50%	0,0000	0,2246	0,4491	0,6734	0,8975	1,1215	1,3454	1,5691	1,7927	2,0161	2,2394
wilgotność 60%	0,0000	0,1375	0,2757	0,4146	0,5543	0,6946	0,8356	0,9774	1,1199	1,2630	1,4069
z udziałem komponentu: drewno bukowe											
wilgotność 0%	0,0000	0,5807	1,1605	1,7395	2,3178	2,8952	3,4718	4,0477	4,6227	5,1969	5,7703
wilgotność 10%	0,0000	0,5166	1,0323	1,5470	2,0609	2,5737	3,0857	3,5967	4,1068	4,6160	5,1242
wilgotność 20%	0,0000	0,4514	0,9018	1,3512	1,7996	2,2470	2,6934	3,1387	3,5831	4,0264	4,4688
wilgotność 30%	0,0000	0,3845	0,7680	1,1504	1,5318	1,9122	2,2916	2,6700	3,0474	3,4237	3,7991
wilgotność 40%	0,0000	0,3147	0,6284	0,9413	1,2532	1,5643	1,8744	2,1836	2,4919	2,7993	3,1058
wilgotność 50%	0,0000	0,2396	0,4786	0,7171	0,9549	1,1922	1,4289	1,6650	1,9005	2,1355	2,3699
wilgotność 60%	0,0000	0,1534	0,3070	0,4607	0,6147	0,7689	0,9233	1,0778	1,2326	1,3876	1,5427
z udziałem komponentu: ślaziovec patemi											
wilgotność 0%	0,0000	0,5970	1,1935	1,7894	2,3848	2,9796	3,5739	4,1677	4,7609	5,3536	5,9457
wilgotność 10%	0,0000	0,5300	1,0593	1,5881	2,1161	2,6436	3,1704	3,6965	4,2220	4,7469	5,2712
wilgotność 20%	0,0000	0,4619	0,9230	1,3835	1,8433	2,3024	2,7608	3,2185	3,6756	4,1319	4,5876
wilgotność 30%	0,0000	0,3920	0,7834	1,1740	1,5641	1,9534	2,3421	2,7301	3,1174	3,5041	3,8901
wilgotność 40%	0,0000	0,3194	0,6383	0,9566	1,2744	1,5917	1,9084	2,2246	2,5403	2,8554	3,1700
wilgotność 50%	0,0000	0,2418	0,4834	0,7248	0,9660	1,2070	1,4479	1,6885	1,9289	2,1691	2,4092
wilgotność 60%	0,0000	0,1537	0,3080	0,4628	0,6182	0,7742	0,9308	1,0879	1,2456	1,4038	1,5627

Źródło: opracowanie własne

TABELA 7. Korzyści z handlu emisją CO₂ przy spalaniu mieszanki paliwowej w przeliczeniu na 1 GJ energii użytkowej – dla ceny spot [euro/GJ]

TABLE 7. Profits from CO₂ trade in combustion of fuel mixture in production of 1GJ of energy for spot price [euro/GJ]

Węgiel [kg]	1000	980	960	940	920	900	880	860	840	820	800
Biomasa [kg]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
z udziałem komponentu: słoma											
wilgotność 0%	0,00000	0,01042	0,02096	0,03164	0,04243	0,05337	0,06443	0,07564	0,08699	0,09848	0,11013
wilgotność 10%	0,00000	0,00923	0,01860	0,02810	0,03775	0,04755	0,05751	0,06762	0,07789	0,08833	0,09894
wilgotność 20%	0,00000	0,00801	0,01616	0,02446	0,03292	0,04153	0,05030	0,05925	0,06837	0,07767	0,08716
wilgotność 30%	0,00000	0,00675	0,01363	0,02067	0,02787	0,03522	0,04274	0,05043	0,05831	0,06637	0,07463
wilgotność 40%	0,00000	0,00541	0,01096	0,01665	0,02249	0,02849	0,03465	0,04098	0,04748	0,05417	0,06106
wilgotność 50%	0,00000	0,00395	0,00803	0,01224	0,01658	0,02106	0,02569	0,03048	0,03544	0,04056	0,04587
wilgotność 60%	0,00000	0,00223	0,00456	0,00699	0,00954	0,01221	0,01500	0,01793	0,02099	0,02420	0,02757
z udziałem komponentu: mискant olbrzymi											
wilgotność 0%	0,00000	0,0112	0,0225	0,0339	0,0454	0,0571	0,0688	0,0807	0,0927	0,1049	0,1171
wilgotność 10%	0,00000	0,0099	0,0200	0,0302	0,0405	0,0510	0,0616	0,0724	0,0833	0,0944	0,1056
wilgotność 20%	0,00000	0,0087	0,0175	0,0264	0,0355	0,0447	0,0542	0,0637	0,0735	0,0834	0,0935
wilgotność 30%	0,00000	0,0073	0,0148	0,0225	0,0303	0,0382	0,0463	0,0546	0,0631	0,0717	0,0806
wilgotność 40%	0,00000	0,0060	0,0121	0,0183	0,0247	0,0313	0,0380	0,0449	0,0520	0,0592	0,0667
wilgotność 50%	0,00000	0,0045	0,0091	0,0138	0,0187	0,0237	0,0289	0,0342	0,0397	0,0454	0,0512
wilgotność 60%	0,00000	0,0027	0,0056	0,0086	0,0116	0,0149	0,0182	0,0217	0,0253	0,0291	0,0330
z udziałem komponentu: drewno bukowe											
wilgotność 0%	0,00000	0,0115	0,0230	0,0347	0,0464	0,0583	0,0703	0,0824	0,0946	0,1069	0,1194
wilgotność 10%	0,00000	0,0102	0,0205	0,0310	0,0416	0,0523	0,0631	0,0741	0,0852	0,0965	0,1079
wilgotność 20%	0,00000	0,0089	0,0180	0,0272	0,0365	0,0460	0,0557	0,0655	0,0754	0,0856	0,0958
wilgotność 30%	0,00000	0,0076	0,0154	0,0233	0,0313	0,0395	0,0479	0,0564	0,0651	0,0740	0,0830
wilgotność 40%	0,00000	0,0062	0,0126	0,0192	0,0258	0,0326	0,0396	0,0468	0,0541	0,0616	0,0693
wilgotność 50%	0,00000	0,0048	0,0097	0,0147	0,0198	0,0251	0,0306	0,0362	0,0420	0,0479	0,0540
wilgotność 60%	0,00000	0,0031	0,0062	0,0095	0,0129	0,0164	0,0200	0,0238	0,0277	0,0318	0,0361
z udziałem komponentu: ślázowiec patemi											
wilgotność 0%	0,00000	0,0118	0,0236	0,0356	0,0477	0,0599	0,0722	0,0846	0,0971	0,1097	0,1224
wilgotność 10%	0,00000	0,0105	0,0211	0,0318	0,0426	0,0536	0,0647	0,0760	0,0873	0,0989	0,1106
wilgotność 20%	0,00000	0,0091	0,0184	0,0278	0,0374	0,0471	0,0570	0,0670	0,0772	0,0875	0,0981
wilgotność 30%	0,00000	0,0078	0,0157	0,0237	0,0320	0,0403	0,0489	0,0576	0,0665	0,0756	0,0848
wilgotność 40%	0,00000	0,0063	0,0128	0,0195	0,0263	0,0332	0,0403	0,0476	0,0551	0,0627	0,0706
wilgotność 50%	0,00000	0,0048	0,0098	0,0148	0,0201	0,0254	0,0310	0,0367	0,0426	0,0486	0,0548
wilgotność 60%	0,00000	0,0031	0,0062	0,0095	0,0130	0,0165	0,0202	0,0240	0,0280	0,0322	0,0365

Źródło: opracowanie własne

TABELA 8. Korzyści z handlu emisją CO₂ przy spalaniu mieszanki paliwowej w przeliczeniu na 1 GJ energii użytkowej – dla ceny future [euro/GJ]
 TABLE 8. Profits from CO₂ trade in combustion of fuel mixture in production of 1 GJ of energy for future price [euro/GJ]

węgiel [kg]	1000	980	960	940	920	900	880	860	840	820	800
biomasa [kg]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
z udziałem komponentu: słoma											
wilgotność 0%	0,0000	0,0277	0,0556	0,0840	0,1126	0,1416	0,1710	0,2007	0,2309	0,2614	0,2923
wilgotność 10%	0,0000	0,0245	0,0494	0,0746	0,1002	0,1262	0,1526	0,1794	0,2067	0,2344	0,2626
wilgotność 20%	0,0000	0,0213	0,0429	0,0649	0,0874	0,1102	0,1335	0,1572	0,1814	0,2061	0,2313
wilgotność 30%	0,0000	0,0179	0,0362	0,0549	0,0740	0,0935	0,1134	0,1338	0,1547	0,1761	0,1980
wilgotność 40%	0,0000	0,0144	0,0291	0,0442	0,0597	0,0756	0,0920	0,1087	0,1260	0,1438	0,1620
wilgotność 50%	0,0000	0,0105	0,0213	0,0325	0,0440	0,0559	0,0682	0,0809	0,0940	0,1076	0,1217
wilgotność 60%	0,0000	0,0059	0,0121	0,0186	0,0253	0,0324	0,0398	0,0476	0,0557	0,0642	0,0732
z udziałem komponentu: mискant olbrzymi											
wilgotność 0%	0,0000	0,0297	0,0597	0,0900	0,1206	0,1515	0,1827	0,2142	0,2461	0,2783	0,3109
wilgotność 10%	0,0000	0,0264	0,0531	0,0802	0,1076	0,1354	0,1636	0,1921	0,2211	0,2505	0,2802
wilgotność 20%	0,0000	0,0230	0,0463	0,0701	0,0942	0,1188	0,1437	0,1691	0,1949	0,2212	0,2480
wilgotność 30%	0,0000	0,0195	0,0394	0,0596	0,0803	0,1014	0,1229	0,1449	0,1674	0,1903	0,2138
wilgotność 40%	0,0000	0,0158	0,0320	0,0486	0,0656	0,0830	0,1008	0,1191	0,1379	0,1571	0,1769
wilgotność 50%	0,0000	0,0119	0,0241	0,0366	0,0496	0,0629	0,0766	0,0908	0,1054	0,1204	0,1360
wilgotność 60%	0,0000	0,0073	0,0148	0,0227	0,0309	0,0394	0,0483	0,0575	0,0671	0,0772	0,0876
z udziałem komponentu: drewno bukowe											
wilgotność 0%	0,0000	0,0304	0,0611	0,0920	0,1232	0,1547	0,1865	0,2186	0,2511	0,2838	0,3168
wilgotność 10%	0,0000	0,0271	0,0545	0,0822	0,1103	0,1387	0,1675	0,1967	0,2262	0,2561	0,2864
wilgotność 20%	0,0000	0,0237	0,0478	0,0722	0,0970	0,1222	0,1478	0,1738	0,2002	0,2270	0,2544
wilgotność 30%	0,0000	0,0202	0,0408	0,0618	0,0832	0,1049	0,1271	0,1497	0,1728	0,1964	0,2204
wilgotność 40%	0,0000	0,0166	0,0335	0,0508	0,0685	0,0866	0,1052	0,1241	0,1435	0,1634	0,1838
wilgotność 50%	0,0000	0,0127	0,0256	0,0390	0,0527	0,0667	0,0812	0,0960	0,1114	0,1271	0,1434
wilgotność 60%	0,0000	0,0081	0,0165	0,0252	0,0342	0,0435	0,0532	0,0632	0,0736	0,0845	0,0957
z udziałem komponentu: ślázowiec patemi											
wilgotność 0%	0,0000	0,0312	0,0627	0,0945	0,1266	0,1589	0,1915	0,2244	0,2576	0,2911	0,3249
wilgotność 10%	0,0000	0,0278	0,0559	0,0843	0,1131	0,1422	0,1717	0,2016	0,2318	0,2624	0,2934
wilgotność 20%	0,0000	0,0243	0,0489	0,0739	0,0992	0,1250	0,1512	0,1778	0,2048	0,2323	0,2602
wilgotność 30%	0,0000	0,0206	0,0416	0,0630	0,0848	0,1071	0,1297	0,1528	0,1764	0,2005	0,2251
wilgotność 40%	0,0000	0,0168	0,0340	0,0517	0,0697	0,0881	0,1070	0,1263	0,1461	0,1664	0,1873
wilgotność 50%	0,0000	0,0128	0,0259	0,0394	0,0532	0,0675	0,0822	0,0973	0,1129	0,1290	0,1456
wilgotność 60%	0,0000	0,0081	0,0166	0,0253	0,0344	0,0438	0,0536	0,0638	0,0744	0,0854	0,0969

Źródło: opracowanie własne

TABELA 9. Relacje korzyści ze sprzedaży emisji CO₂ do kosztów produkcji 1 GJ energii użytkowej – taryfa spot

TABLE 9. Relations between benefits of carbon dioxide emission sale and production cost of 1 GJ of usable energy – spot tariff

Węgiel [kg]	1000	980	960	940	920	900	880	860	840	820	800
Biomasa [kg]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
z udziałem komponentu: słoma											
wilgotność 0%	0,00%	0,42%	0,84%	1,28%	1,73%	2,19%	2,66%	3,14%	3,64%	4,15%	4,67%
wilgotność 10%	0,00%	0,37%	0,75%	1,13%	1,53%	1,93%	2,35%	2,78%	3,21%	3,66%	4,12%
wilgotność 20%	0,00%	0,32%	0,65%	0,98%	1,32%	1,68%	2,04%	2,40%	2,78%	3,17%	3,57%
wilgotność 30%	0,00%	0,27%	0,54%	0,82%	1,11%	1,41%	1,71%	2,02%	2,34%	2,67%	3,00%
wilgotność 40%	0,00%	0,22%	0,44%	0,66%	0,89%	1,13%	1,37%	1,62%	1,88%	2,14%	2,41%
wilgotność 50%	0,00%	0,16%	0,32%	0,48%	0,65%	0,83%	1,00%	1,19%	1,38%	1,57%	1,77%
wilgotność 60%	0,00%	0,09%	0,18%	0,27%	0,37%	0,47%	0,58%	0,69%	0,80%	0,92%	1,04%
z udziałem komponentu: mискant olbrzymi											
wilgotność 0%	0,00%	0,45%	0,91%	1,38%	1,86%	2,35%	2,85%	3,37%	3,90%	4,44%	5,00%
wilgotność 10%	0,00%	0,40%	0,80%	1,22%	1,65%	2,08%	2,53%	2,99%	3,46%	3,94%	4,43%
wilgotność 20%	0,00%	0,35%	0,70%	1,06%	1,43%	1,81%	2,20%	2,60%	3,00%	3,42%	3,85%
wilgotność 30%	0,00%	0,29%	0,59%	0,90%	1,21%	1,53%	1,86%	2,20%	2,54%	2,89%	3,26%
wilgotność 40%	0,00%	0,24%	0,48%	0,73%	0,98%	1,24%	1,51%	1,78%	2,06%	2,35%	2,64%
wilgotność 50%	0,00%	0,18%	0,36%	0,55%	0,74%	0,93%	1,13%	1,34%	1,55%	1,76%	1,99%
wilgotność 60%	0,00%	0,11%	0,22%	0,34%	0,45%	0,58%	0,70%	0,83%	0,97%	1,10%	1,25%
z udziałem komponentu: drewno bukowe											
wilgotność 0%	0,00%	0,46%	0,93%	1,40%	1,89%	2,39%	2,90%	3,42%	3,96%	4,50%	5,06%
wilgotność 10%	0,00%	0,41%	0,82%	1,25%	1,68%	2,13%	2,58%	3,04%	3,51%	4,00%	4,49%
wilgotność 20%	0,00%	0,36%	0,72%	1,09%	1,47%	1,86%	2,25%	2,65%	3,07%	3,49%	3,92%
wilgotność 30%	0,00%	0,30%	0,61%	0,93%	1,25%	1,58%	1,91%	2,26%	2,61%	2,97%	3,33%
wilgotność 40%	0,00%	0,25%	0,50%	0,76%	1,02%	1,29%	1,57%	1,85%	2,13%	2,42%	2,72%
wilgotność 50%	0,00%	0,19%	0,38%	0,58%	0,78%	0,98%	1,19%	1,41%	1,63%	1,85%	2,08%
wilgotność 60%	0,00%	0,12%	0,24%	0,37%	0,50%	0,63%	0,77%	0,91%	1,05%	1,20%	1,35%
z udziałem komponentu: ślázowiec patemi											
wilgotność 0%	0,00%	0,47%	0,95%	1,44%	1,95%	2,46%	2,98%	3,52%	4,07%	4,63%	5,20%
wilgotność 10%	0,00%	0,42%	0,85%	1,28%	1,73%	2,18%	2,65%	3,12%	3,61%	4,11%	4,61%
wilgotność 20%	0,00%	0,36%	0,74%	1,12%	1,50%	1,90%	2,30%	2,72%	3,14%	3,57%	4,02%
wilgotność 30%	0,00%	0,31%	0,62%	0,95%	1,28%	1,61%	1,95%	2,31%	2,66%	3,03%	3,41%
wilgotność 40%	0,00%	0,25%	0,51%	0,77%	1,04%	1,31%	1,59%	1,88%	2,17%	2,47%	2,77%
wilgotność 50%	0,00%	0,19%	0,39%	0,58%	0,79%	1,00%	1,21%	1,43%	1,65%	1,88%	2,11%
wilgotność 60%	0,00%	0,12%	0,25%	0,37%	0,50%	0,64%	0,78%	0,92%	1,06%	1,21%	1,37%

Źródło: opracowanie własne

TABELA 10. Relacje korzyści ze sprzedaży emisji CO₂ do kosztów produkcji 1 GJ energii użytkowej – taryfa future

TABLE 10. Relations between benefits of carbon dioxide emission sale and production cost of 1 GJ usable energy – future tariff

Węgiel [kg]	1000	980	960	940	920	900	880	860	840	820	800
Biomasa [kg]	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
z udziałem komponentu: słoma											
wilgotność 0%	0,00%	1,09%	2,21%	3,35%	4,52%	5,72%	6,95%	8,21%	9,51%	10,84%	12,21%
wilgotność 10%	0,00%	0,96%	1,95%	2,96%	3,99%	5,06%	6,14%	7,26%	8,40%	9,58%	10,78%
wilgotność 20%	0,00%	0,83%	1,69%	2,56%	3,46%	4,38%	5,32%	6,28%	7,27%	8,29%	9,33%
wilgotność 30%	0,00%	0,70%	1,42%	2,16%	2,91%	3,68%	4,47%	5,28%	6,11%	6,97%	7,84%
wilgotność 40%	0,00%	0,56%	1,14%	1,73%	2,33%	2,95%	3,58%	4,24%	4,90%	5,59%	6,29%
wilgotność 50%	0,00%	0,41%	0,83%	1,26%	1,70%	2,16%	2,63%	3,11%	3,60%	4,11%	4,63%
wilgotność 60%	0,00%	0,23%	0,47%	0,72%	0,97%	1,24%	1,51%	1,80%	2,09%	2,40%	2,71%
z udziałem komponentu: mискant olbrzymi											
wilgotność 0%	0,00%	1,17%	2,37%	3,60%	4,85%	6,14%	7,46%	8,81%	10,20%	11,62%	13,08%
wilgotność 10%	0,00%	1,04%	2,10%	3,19%	4,30%	5,44%	6,61%	7,80%	9,03%	10,29%	11,58%
wilgotność 20%	0,00%	0,90%	1,83%	2,77%	3,74%	4,73%	5,75%	6,78%	7,85%	8,94%	10,06%
wilgotność 30%	0,00%	0,76%	1,55%	2,35%	3,16%	4,00%	4,86%	5,74%	6,64%	7,56%	8,51%
wilgotność 40%	0,00%	0,62%	1,25%	1,90%	2,57%	3,25%	3,94%	4,65%	5,38%	6,13%	6,90%
wilgotność 50%	0,00%	0,46%	0,94%	1,42%	1,92%	2,43%	2,96%	3,49%	4,04%	4,61%	5,19%
wilgotność 60%	0,00%	0,28%	0,58%	0,88%	1,19%	1,51%	1,84%	2,18%	2,53%	2,89%	3,26%
z udziałem komponentu: drewno bukowe											
wilgotność 0%	0,00%	1,20%	2,42%	3,67%	4,95%	6,25%	7,58%	8,94%	10,34%	11,76%	13,22%
wilgotność 10%	0,00%	1,07%	2,15%	3,26%	4,40%	5,56%	6,74%	7,95%	9,18%	10,45%	11,74%
wilgotność 20%	0,00%	0,93%	1,88%	2,85%	3,84%	4,85%	5,88%	6,94%	8,01%	9,12%	10,24%
wilgotność 30%	0,00%	0,79%	1,60%	2,43%	3,27%	4,13%	5,00%	5,90%	6,82%	7,75%	8,71%
wilgotność 40%	0,00%	0,65%	1,31%	1,99%	2,67%	3,38%	4,09%	4,83%	5,57%	6,34%	7,12%
wilgotność 50%	0,00%	0,49%	1,00%	1,51%	2,04%	2,57%	3,12%	3,68%	4,25%	4,83%	5,43%
wilgotność 60%	0,00%	0,32%	0,64%	0,97%	1,31%	1,66%	2,02%	2,38%	2,76%	3,14%	3,54%
z udziałem komponentu: ślázowiec patemi											
wilgotność 0%	0,00%	1,23%	2,49%	3,77%	5,08%	6,43%	7,80%	9,20%	10,63%	12,10%	13,60%
wilgotność 10%	0,00%	1,09%	2,21%	3,35%	4,51%	5,70%	6,92%	8,16%	9,43%	10,73%	12,06%
wilgotność 20%	0,00%	0,95%	1,92%	2,92%	3,93%	4,97%	6,02%	7,10%	8,21%	9,34%	10,50%
wilgotność 30%	0,00%	0,81%	1,63%	2,48%	3,33%	4,21%	5,11%	6,03%	6,96%	7,92%	8,90%
wilgotność 40%	0,00%	0,66%	1,33%	2,02%	2,72%	3,43%	4,16%	4,91%	5,67%	6,45%	7,25%
wilgotność 50%	0,00%	0,50%	1,01%	1,53%	2,06%	2,60%	3,16%	3,73%	4,31%	4,90%	5,51%
wilgotność 60%	0,00%	0,32%	0,64%	0,98%	1,32%	1,67%	2,03%	2,40%	2,78%	3,17%	3,57%

Źródło: opracowanie własne

Wnioski

Z przeprowadzonych analiz wynika, że sprawność energetyczna kotła opalanego mieszankami węgla z komponentami biomasy zmienia się w niewielkim zakresie. Niemniej jednak można zaobserwować, że sprawność ta rośnie w miarę wzrostu udziału komponentów biologicznych, a maleje, w zależności od zawartości wilgoci w tych komponentach. Na efektywność ekonomiczną handlu emisją dwutlenku węgla w przeliczeniu na 1 GJ energii użytkowej ma wpływ zmienność wartości opałowej mieszanek w zależności od proporcji składników, zmienność sprawności energetycznej kotła oraz rodzaj zastosowanego komponentu biologicznego. W oparciu o tablice 7 i 8 oraz 9 i 10 można sformułować uogólnione wnioski:

- ✧ zastosowanie komponentów biologicznych w mieszankach paliwowych pozwala na uzyskanie zbywalnych uprawnień do emisji CO₂, co przynosi wymierne korzyści ekonomiczne;
- ✧ efekty te są tym większe, im większy jest udział komponentu biologicznego w mieszance;
- ✧ efekty te ulegają zmniejszeniu przy rosnącej zawartości wilgoci w komponentach biologicznych;
- ✧ dla różnych rodzajów komponentów biologicznych uzyskuje się różne wartości efektów ekonomicznych;
- ✧ dla wyższych cen transakcyjnych w handlu emisjami CO₂ uzyskuje się większe efekty ekonomiczne po stronie producenta energii;
- ✧ wzrost kosztów pozyskania komponentów mieszanek paliwowych powoduje zmniejszenie udziału procentowego korzyści z handlu emisjami CO₂ w stosunku do kosztów produkcji energii użytkowej;
- ✧ wynikowy efekt ekonomiczny z zastosowania mieszanek paliwowych z udziałem biokomponentów zależy więc z jednej strony od cen transakcyjnych w handlu emisjami CO₂, a z drugiej od kosztów pozyskania biokomponentów. Dlatego też, dla uzyskania pełnego obrazu efektów ekonomicznych, analizy takie należałoby wzbogacić o koszty pozyskania biokomponentów jako składnika mieszanek paliwowych oraz o koszty zewnętrzne powstające poza elektrownią czy elektrociepłownią (np. skutki efektu cieplarnianego).

Literatura

- [1] PN-72/M-34128. Kotły parowe. Wymagania i badania odbiorcze.
- [2] Praca zbiorowa pod redakcją Mariana Mieszkowskiego, Pomiar ciepła i energetyczne. WNT, Warszawa 1981.
- [3] Praca zbiorowa. Poradnik termooenergetyka – wydanie drugie zmienione i uzupełnione. WNT, Warszawa 1974,

- [4] WARCHAŁOWSKI A. — Ochrona powietrza – ocena oddziaływania instalacji na stan powietrza – aspekty praktyczne związane z przygotowaniem i sprawdzeniem wniosków o wydanie pozwolenia i raportów oddziaływania instalacji na środowisko.
- [5] http://www.mos.gov.pl/2materialy_informacyjne/informacje_o_szkoleniach/materialy_szkoleniowe.pdf

Andrzej KROWIAK, Krzysztof STAŃCZYK, Marek BIENIECKI

Economic benefits of trade of carbon dioxide emission rights at the combustion of coal mixtures with organic components in professional energetic

Abstract

The article presents a method of analysis and the results of exemplary calculations of economic effects resulting from the possibility of trade of carbon dioxide emission rights at the combustion of fuel mixtures of coal and biocomponents by the professional power engineering. The calculations were carried out for selected biocomponents, changeable share of biocomponents in the fuel mixture and their changeable moisture – in terms of 1 GJ of usable energy.

KEY WORDS: economy, boiler, emission, study