

Maria Żygadło

Wybrane elementy problematyki współspalania paliw alternatywnych

Zrównoważenie roli ekonomicznego, ekologicznego i społecznego aspektu gospodarowania odpadami przywiodło do ustanowienia priorytetów [1], które recykling materiałowy i odzyskiwanie energii z odpadów stawiają ponad ich unieszkodliwianie na składowiskach [2–4]. Odzyskiwanie energii z odpadów pozwala rozwiązywać równocześnie dwa problemy – zagospodarowania odpadów oraz zapotrzebowania na energię [5–8]. Wytwarzanie i energetyczne wykorzystanie paliw stałych z odpadów jest bardzo ważnym elementem nowoczesnego systemu zarządzania odpadami [2, 9, 10].

Przyjęte przez Unię Europejską założenia mają na celu ochronę klimatu przez zwiększenie innowacyjności w wytwarzaniu energii [11], ograniczenie zależności od paliw kopalnych oraz większe bezpieczeństwo i stabilność dostarczania energii [12]. Konieczność zróżnicowania źródeł paliw oraz niekorzystny wpływ na środowisko związany z nadmierną emisją gazów cieplarnianych, w tym z biomasy na składowiskach, skłania ku alternatywnym źródłom energii [13, 14]. Składowanie odpadów jest najmniej pożądanym sposobem ich zagospodarowania, gdyż odpowiada za 3÷4% globalnej emisji gazów cieplarnianych [15]. Składowiska są wciąż nieodłącznym elementem obecnych systemów zagospodarowania odpadów [16]. W Polsce na składowiska trafia około 53% odpadów komunalnych. Jest to wciąż bardzo dużo zważywszy, że w krajach o wysokim poziomie gospodarki odpadami (Szwecja, Holandia, Niemcy, Austria) na składowiska trafia 1÷5% odpadów komunalnych. Odzyskiwanie energii w procesie współspalania odpadów wysokokalorycznych w instalacjach przemysłowych jest korzystnym rozwiązaniem w porównaniu do ich składowania [5].

W świetle rozporządzenia Ministra Gospodarki z 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach [17], konieczne jest zwiększenie skuteczności odzyskiwania surowców oraz frakcji palnej z odpadów komunalnych, gdyż od 2016 r. nie dopuszcza się deponowania na składowiskach odpadów o ciepłe spalania powyżej 6MJ/kg (w odniesieniu do suchej masy), z zawartością ogólnego węgla organicznego powyżej 5% i straty prażenia powyżej 8%. Zaleca się stworzenie zamkniętego systemu, gdzie odpady są wykorzystywane jako źródło energii lub substraty do otrzymywania innego

produktu [18]. Znajduje to odbicie w decyzjach Komisji Europejskiej, która zobowiązuje kraje członkowskie do zdecydowanego ograniczenia składowania odpadów. W dokumencie „Ku gospodarce o obiegu zamkniętym – zero odpadów” z 2015 r. Komisja Europejska zaleca, aby do 2030 r. recykling odpadów komunalnych wynosił minimum 65%, a składowaniu podlegało nie więcej niż 10% tych odpadów [19]. Należy zwrócić także uwagę na nowy kierunek wykorzystania zasobów energii, które zostały zgromadzone w odpadach zgromadzonych na starych, już zamkniętych, składowiskach. W Austrii, Japonii i Niemczech wykonuje się odkrywki starych składowisk odpadów komunalnych w celu odzyskania zarówno cennych metali, jak i frakcji wysokokalorycznej, którą następnie poddaje się przetwarzaniu do postaci paliwa alternatywnego na potrzeby współspalania w instalacjach przemysłowych [20, 21].

Konwersja energii z odpadów jest uzasadniona także w aspekcie gospodarki surowcami, w tym przypadku paliwami kopalnymi [22, 23]. W Deklaracji Sztokholmskiej akcentuje się między innymi prawo do środowiska i zabezpieczenia zasobów naturalnych na potrzeby obecnych i przyszłych pokoleń, a racjonalna gospodarka zasobami jest drogą do ulepszenia środowiska [24]. Wiąże się to również z zaspokajaniem potrzeb społecznych [25, 26]. W skali globalnej wykorzystanie paliw z odpadów w charakterze zamiennika paliw kopalnych umożliwia poprawę bilansu dwutlenku węgla, gdyż jego emisja w przypadku spalania odpadów z biomasy przyjmowana jest za zerową [27, 28]. Oszacowano, że rezygnacja ze składowania odpadów komunalnych na rzecz kompostowania, recyklingu i odzyskiwania energii może zaowocować w Unii Europejskiej zmniejszeniem CO₂ odpowiadającej prawie 30% wartości przyjętej jako cel w protokole z Kioto [15].

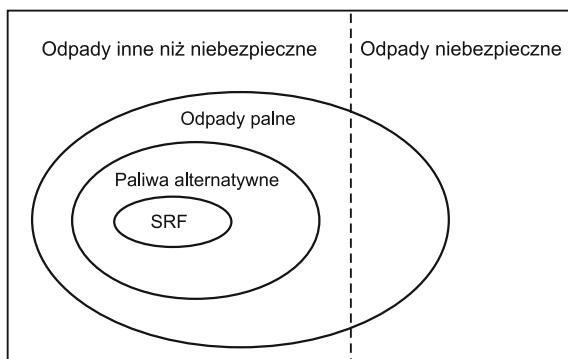
Na rynku krajowym działa blisko 200 wytwórców paliwa alternatywnego z odpadów [29]. W 2015 r. w Polsce powstało ponad 2 mln ton paliwa alternatywnego, któremu w katalogu odpadów przypisano kod 19 12 10. Z tej ilości w procesie odzyskiwania energii wykorzystano 1,13 mln ton (RDF/SRF). Większość paliwa alternatywnego (97%) spalono w piecach cementowni, natomiast pozostałe 3% zużyły papiernia Stora Enso na Mazowszu oraz fabryka EuroEco Fuels w Szczecinie produkująca petrochemikalia alternatywne, zaś część trafiła do nowo powstałych spalarni odpadów komunalnych. Niestety w kraju nie stosuje się na większą skalę współspalania tych paliw poza branżą cementową, jak ma to miejsce w krajach wysoko rozwiniętych [30, 31]. Dyskusja przyczyn utrudniających

wdrożenie współspalania paliw z odpadów do innych sektorów przemysłu (poza cementowniami) wymaga kompleksowego podejścia – należy rozważyć aspekty prawne, techniczne i społeczne [32,33].

W niniejszej publikacji poddano analizie zarówno przesłanki przemawiające za korzyściami wynikającymi ze współspalania paliw alternatywnych, jak i bariery techniczne oraz formalnoprawne, które ograniczają wykorzystanie tych paliw w szerszym zakresie, poza przemysłem cementowym.

Kryteria jakościowe paliw z odpadów

Termin „paliwo alternatywne” wprowadzono prawnie do nomenklatury krajowej w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów [34]. Zatem paliwo alternatywne nie jest produktem – jest odpadem, który w katalogu odpadów występuje jako odpady palne (kod 19 12 10). Do wytwarzania paliw alternatywnych używane są głównie odpady wysokokaloryczne, takie jak opony, tworzywa sztuczne, tekstylia, odpadowa biomasa, osady ściekowe, oleje odpadowe i inne o podobnych właściwościach [8,35]. Określenia dotyczące paliw z odpadów w literaturze krajowej, a także zagranicznej bywają niejednoznaczne. Termin RDF (refuse derived fuel) został wprowadzony w 1973 r., natomiast termin SRF (solid recovered fuel) wprowadzono po opublikowaniu przez Europejskie Centrum Akredytacji (CEN) standaryzacji paliw z odpadów. Terminologia stosowana w odniesieniu do paliw alternatywnych nie była wcześniej jednoznacznie zdefiniowana, mimo podejmowanych prób. Wciąż w odniesieniu do paliw z odpadów stosuje się niejednokrotnie terminy RDF [5] i SRF [3, 4, 36] lub zbitkę tych terminów – RDF/SRF [8, 37]. Ponieważ termin „paliwo alternatywne” jest pojęciem szerszym, ilustrację tej zależności zaprezentowano na rysunku 1.



Rys. 1. Miejsce stałych paliw wtórnych (SRF) na mapie odpadów

Fig. 1. Determinants for SRF position on the waste map

Z uwagi na heterogeniczny strumień odpadów wyjściowych do wytwarzania paliw alternatywnych niezbędne było doprowadzenie do standaryzacji tych paliw. Według systemu opracowanego przez Europejskie Centrum Akredytacji, terminem SRF (solid recovered fuel) określa się paliwa wytwarzane wyłącznie z odpadów innych niż niebezpieczne i wykorzystywane tylko w instalacjach spełniających standardy emisyjne wynikające z dyrektywy dotyczącej spalania odpadów [38], przy czym w skład SRF nie mogą wchodzić paliwa kopalne. Norma PN-EN 15375:2011 [39] definiuje SRF jako „stałe paliwo wtórne” wytworzone z odpadów innych niż niebezpieczne, przetwarzane poprzez odzyskiwanie energii w odpowiedniej instalacji. Ponieważ w interesie operatorów instalacji współspalających paliwa z odpadów leży zainteresowanie kryteriami jakościowymi w celu uniknięcia problemów technicznych, takich jak korozja lub negatywny wpływ na produkty spalania [32, 40, 41], dlatego Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) – jako aspekt eksploatacyjny – ustanowił graniczną zawartość chloru w tych paliwach. W aspekcie ekonomicznym poddano ograniczeniu wartość opałową netto paliw, a jedyne kryterium odzwierciedlające wymagania środowiskowe dotyczy rtęci. Kryteria jakościowe stałych paliw wtórnych, z podziałem na 5 klas, podaje norma PN-EN-15359:2012 [42] (tab. 1). Standaryzacja paliw alternatywnych ma na celu podniesienie jakości ich wytwarzania i jest podyktowana interesem środowiska na etapie odzyskiwania energii z tych paliw [43]. Wpływa ona również na poziom społecznej akceptacji wobec odzyskiwania energii z odpadów [3, 37].

Charakterystykę wybranych paliw wytwarzanych w kraju podano w publikacjach [29,33], natomiast dane dotyczące paliw zagranicznych zestawiono w pracach [26,44]. Należy podkreślić, że niezależnie od standardów unijnych, jakość paliwa alternatywnego musi spełniać kryteria indywidualne ustalone przez odbiorcę. Rozwój metod badań odpadów z wykorzystaniem technik instrumentalnych [45, 46] oraz możliwość oceny udziału frakcji palnej z wykorzystaniem metod selektywnego roztrawiania oraz izotopu ^{14}C , przyczyniły się do promowania paliw alternatywnych jako bezpiecznych źródeł energii oraz zwiększyły wiarygodność tych produktów [47].

Zakres wykorzystania paliw alternatywnych

W wielu krajach paliwo z odpadów jest spalane i współspalane w elektrowniach [48, 49], cementowniach [4, 50], elektrociepłowniach i piecach wapiennikowych [53, 54], a także w przemyśle celulozowo-papierniczym, co pozwala w znacznym stopniu zmniejszyć koszty eksploatacji instalacji opalanych węglem kamiennym lub brunatnym. W tabeli 2 przytoczono skalę wytwarzania i współspalania paliw alternatywnych w wybranych krajach Unii Europejskiej.

Tabela 1. Klasy jakości stałych paliw wtórnych z odpadów według PN EN-15359:2012 [42]
Table 1. Classification of solid recovered fuels (SRF) according to PN EN-15359:2012 [42]

Parametr, jednostka	Miara statystyczna	Klasa jakości paliw				
		1	2	3	4	5
Wartość opałowa*, MJ/kg	średnia	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
Chlor**, %	średnia	≤0,2	≤0,6	≤2,0	≤1,5	≤3
Rtęć*, mgHg/MJ	mediana	≤0,02	≤0,03	≤0,08	≤0,15	≤0,50
	80. percentyl	≤0,04	≤0,06	≤0,16	≤0,30	≤1,00

*stan roboczy, **stan suchy

Tabela 2. Współspalanie paliw alternatywnych (SRF) w wybranych krajach UE [51]
Table 2. Co-incineration of SRF in selected EU countries [51]

Kraj	Rok	Masa wytworzonych paliw (SRT), tys. ton	Masa zużytych paliw (SRT), tys. ton			
			cementownie	elektrownie	elektrociepłownie	eksport
Austria	2011	580	230	0	250	100
Niemcy	2010	6150	1900	750	3500	0
Szwecja	2010	280	60	0	430	-210
Hiszpania	2011	224	224	0	0	0

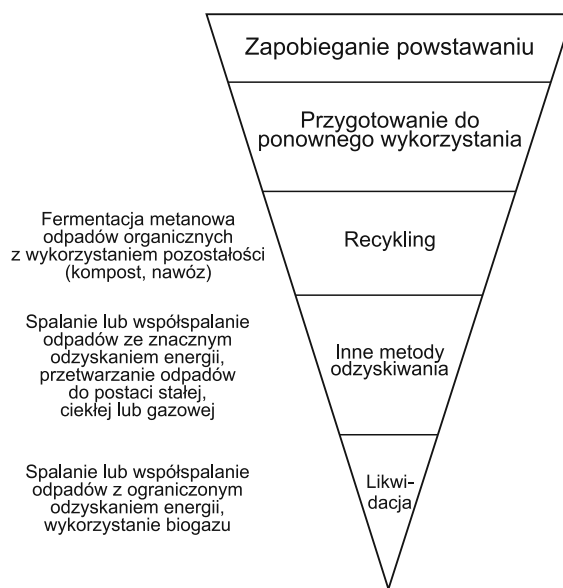
Kaloryczność paliw alternatywnych ($16\div 18$ MJ/kg) jest niewiele mniejsza od kaloryczności węgla kamiennego ($18\div 23$ MJ/kg). Ta niewielka różnica wartości opałowej obu rodzajów paliw uzasadnia użycie paliw alternatywnych w wielu branżach przemysłu [52, 53]. Do największych producentów paliw alternatywnych otrzymanych z odpadów należą Niemcy, Finlandia i Wielka Brytania, przy czym dwa pierwsze kraje przodują w wykorzystaniu tych paliw poza branżą cementową. Z danych zestawionych w tabeli 2 wynika, że w niektórych krajach jest nadprodukcja paliw alternatywnych, natomiast inne kraje importują je kierując się korzyściami wynikającymi ze zróżnicowania rynku paliw. Prognoza wykonana w ramach międzynarodowego programu badawczego QUOVADIS wskazuje na potencjał wykorzystania stałych paliw z odpadów w krajach unijnych wynoszący $27\div 37$ mln ton rocznie [44]. W podziale na branże przemysłowe ocenia się, że przemysł cementowy może rocznie spalić $3,5\div 7$ mln ton (substytucja $15\div 30\%$ paliwa kopalnego), produkcja energii elektrycznej – $6,5\div 13$ mln ton ($2\div 4\%$ paliwa kopalnego), a produkcja energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu – 17 mln ton (12% paliwa kopalnego) [54]. Rozszerzenie zakresu wykorzystania współspalania paliw alternatywnych na energię przemysłową w warunkach krajowych wymaga zastosowania odpowiednich bodźców ekonomicznych [55].

Ramowa Dyrektywa Odpadowa (2008/98/EC) [56] w artykule 6 przewidziała możliwość utraty przez odpady statusu odpadów (end-of-waste status) pod pewnymi warunkami, co znalazło odzwierciedlenie w ustawie o odpadach z 2012 r. (Dz. U. RP z 2013 r., poz. 21). Dyskusja w tym zakresie prowadzona jest od 2008 r., jednak dotąd nie przyniosła oczekiwanych rezultatów [33]. Alternatywą współspalania paliwa alternatywnego z węglem są piroliza i gazyfikacja [57, 58]. Paliwo z odpadów może być wykorzystane jako surowiec w reaktorach pirolitycznych i zgazowujących, z których gazy pirolityczne i syntezowe z zawartością H_2 , CO, CH_4 wykorzystuje się energetycznie i chemicznie [59, 60]. Ten sposób wykorzystania zalecany jest w przypadku paliw alternatywnych o gorszych walorach jakościowych.

Aspekty środowiskowe, społeczne i ekonomiczne współspalania paliw alternatywnych

Europejska strategia gospodarki odpadami (dyrektywa 2008/98/EC) określa hierarchię gospodarki odpadami, porządkując priorytety w następującej kolejności: unikanie wytwarzania (zapobieganie), recykling, inne formy odzyskiwania i ostateczne unieszkodliwianie (rys. 2). Wynikające z tego zadania nałożone na gospodarkę kraju zostały intensywnie podjęte po 2012 r. w postaci budowy instalacji do mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych, a także ich termicznego przekształcania w regionach o liczbie mieszkańców powyżej 300 tysięcy.

W przypadku frakcji, których nie udało się zagospodarować w procesach odzyskiwania i recyklingu materiałów, przewiduje się ich spalanie i współspalanie z odzyskiwaniem energii. Został zatem wskazany obszar recyklingu energetycznego odpadów komunalnych, które należy uchronić przed ostatecznym deponowaniem na składowiskach [31, 40, 43]. W ten obszar wpisuje się wykorzystanie paliw alternatywnych. W technologii mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych (MBP) można wydzielić $30\div 40\%$ frakcji paliwowej [61, 62]. Z praktyki przemysłowej wynika, że w instalacjach do mechaniczno-biologicznego przetwarzania poważnym problemem jest zagospodarowanie wysokokalorycznej frakcji odpadów, ponieważ występuje jej nadpodaż [8, 54]. Obok zdecydowanych korzyści środowiskowych, współspalanie paliw alternatywnych przynosi także korzyści ekonomiczne [30, 35]. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 8 czerwca 2016 r. [63] określa warunki techniczne kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów jako energii z odnawialnego źródła energii. Korzyścią dla producentów energii jest obniżenie raportowanej emisji CO_2 (zaoszczędzenie tzw. limitów emisji CO_2 przyznaných sektorowi). W przypadku części paliw alternatywnych, stanowiącej frakcję biodegradowalną, operator instalacji może zastosować współczynnik emisji CO_2 równy 0 [64]. Ponadto producenci energii mogą liczyć na zwiększenie przychodów w związku z niższą ceną paliw z odpadów w stosunku do paliw kopalnych (węgiel kamienny jest wielokrotnie droższy od paliwa alternatywnego).



Rys. 2. Hierarchia gospodarki odpadami i udział przetworzenia odpadów w energię [19]

Fig. 2. Waste management hierarchy and the share of waste-to-energy (WtE) conversion [19]

Doświadczenia zagraniczne potwierdzają, że najwyższą skuteczność ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i największe korzyści ekonomiczne można uzyskać w procesie współspalania paliw alternatywnych w piecach cementowych [8]. Zwiększa to możliwości inwestowania w „czyste technologie”, a przez to zmniejszenie emisji CO₂. Obecnie wszystkie cementownie w kraju mają pozwolenia na współspalanie paliw alternatywnych i spełniają wymagania środowiskowe. Spalanie paliw alternatywnych w piecu cementowym jest procesem bezodpadowym, gdyż popiół z ich spalania wchodzi w skład klinkieru cementowego. Nie występuje więc problem z zagospodarowaniem odpadów stałych (popiołów) z procesu spalania, który występuje w przypadku spalarni odpadów lub instalacji do odzyskiwania energii. Obawy związane z wykorzystaniem paliw alternatywnych mogą wynikać ze wzrostu zanieczyszczeń w gazach odlotowych, co obserwuje się w instalacjach do spalania odpadów, zwłaszcza dotyczy to rtęci oraz dioksyn i furanów [65, 66]. Badania prowadzone w 73 cementowniach we Włoszech potwierdziły zmniejszenie emisji NO_x, SO₂, większości metali śladowych oraz WWA w procesie współspalania paliw alternatywnych [28, 43].

Barriere formalne i techniczne stosowania paliw alternatywnych w energetyce i ciepłownictwie

Stan prawny powoduje szereg barier formalnoprawnych i technicznych uniemożliwiających w kraju wykorzystanie paliw alternatywnych poza przemysłem cementowym. Zasadniczym problemem jest heterogeniczność paliw z odpadów komunalnych, która jest uwarunkowana sezonowymi zmianami składu odpadów trafiających do instalacji przetwarzania mechaniczno-biologicznego, jak również czynnikami lokalnymi (np. przyjętym systemem segregacji) [55]. W świetle prawa współspalanie paliw alternatywnych wraz z węglem kamiennym jest procesem przekształcania termicznego odpadów, a instalacja przemysłowa, w której proces ten zachodzi jest instalacją do współspalania odpadów. Taka klasyfikacja procesu technologicznego (jako procesu przekształcania termicznego odpadów) wymaga spełnienia przez instalację warunków, jak w przypadku spalarni odpadów [9]. Po stronie barier technicznych występuje między innymi konieczność spełnienia wymogu minimalnej temperatury spalania oraz czasu przebywania gazów w maksymalnej temperaturze – temperatura gazów powstających w wyniku spalania, zmierzona w pobliżu wewnętrznej ściany lub w innym reprezentatywnym punkcie komory spalania lub dopalania, po ostatnim doprowadzeniu powietrza, powinna być utrzymywana przez co najmniej dwie sekundy na poziomie nie niższym niż 850°C – w przypadku odpadów zawierających poniżej 1% związków chlorowcoorganicznych przeliczonych na chlor lub w temperaturze >1100°C – przy zawartości chloru w odpadach powyżej 1% [67]. Operator instalacji współspalającej odpady ma obowiązek prowadzenia pomiarów emisji zgodnie z wymogami rozporządzenia Ministra Środowiska z 30 października 2014 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów emisji [68]. Oznacza to, że instalacja powinna być wyposażona w system ciągłego monitoringu jakości gazów spalinowych. Zatem współspalanie paliw alternatywnych w blokach energetycznych wymaga technicznej modernizacji w celu doposażenia obiektów w instalację do oczyszczania gazów odlotowych, co wiąże się poniesieniem dużych kosztów [69].

W pracy [12] wymieniono szereg elementów wynikających ze współspalania paliw alternatywnych w blokach energetycznych, mogą bowiem wystąpić zakłócenia w procesie technologicznym z powodu heterogenicznego charakteru tych paliw. Udział biomasy w paliwach alternatywnych może być przyczyną wzrostu emisji dioksyn do atmosfery [41]. Proces współspalania paliw alternatywnych wraz z węglem powoduje niejednokrotnie zwiększenie udziału siarki, potasu i sodu w popiele, a także metali śladowych [65]. Zmienia również morfologię ziaren popiołów [28], co może mieć istotne skutki w procesie dalszego ich zagospodarowania. Popioły z procesu współspalania mają inne oznaczenia kodowe, co może ograniczać możliwości ich gospodarczego wykorzystania. Zwraca się także uwagę na zwiększoną zawartość chloru, rtęci, ołowiu i kadmu w gazach odlotowych w trakcie spalania niektórych paliw alternatywnych, w porównaniu do paliw kopalnych [28]. Zwiększony udział chloru w spalinach skutkuje wzrostem kosztów utrzymania instalacji związanych z usuwaniem skutków korozji bloku spalania. Podobnie niekorzystne zjawiska powoduje obecność siarki w gazach odlotowych, która wraz z chlorem bierze udział w korozji wysokotemperaturowej. Ponadto dwutlenek siarki w reakcji z wodą tworzy kwas siarkowy kondensujący na powierzchni elementów instalacji [52].

Podsumowanie

Wykorzystanie paliw z odpadów w kraju ogranicza się praktycznie do zakładów cementowych. Ich współspalanie w piecach cementowych przynosi operatorom instalacji wymierne korzyści ekologiczne – zmniejszenie emisji dwutlenku węgla, tlenków siarki i tlenków azotu, oszczędność pierwotnych nośników energii, a także zyski finansowe. Ograniczenie strumienia odpadów kierowanych na składowiska ma wpływ na ochronę powietrza, wody i gleby. Ma to również przełożenie na interes społeczny, gdyż powinno skutkować obniżeniem opłat za usuwanie odpadów.

Standaryzacja paliw alternatywnych zdecydowanie ogranicza zagrożenia środowiskowe wynikające z ich niekontrolowanego obrotu i wykorzystania. Jednak obecnie wytwarzane paliwa alternatywne, nawet przy spełnieniu ostrych standardów jakościowych, nadal traktowane są jako odpad. Z uwagi na bariery utrudniające wykorzystanie paliw alternatywnych w instalacjach przemysłowych w energetyce i ciepłownictwie, skutecznym narzędziem mogą być instrumenty ekonomiczne i prawne. Należy zmierzać do zmiany statusu paliw alternatywnych z odpadów na status produktu (przy spełnieniu wymaganych kryteriów), co w głównej mierze przyczyni się do znacznie szerszego stosowania paliw alternatywnych w kraju, także w ciepłownictwie i energetyce przemysłowej, podobnie jak w krajach wysoko rozwiniętych.

Substytucja paliw kopalnych paliwami alternatywnymi w energetyce i ciepłownictwie wymaga kompleksowej oceny, którą można przeprowadzić po dłuższym czasie eksploatacji danej instalacji wytwarzającej energię elektryczną lub ciepło oraz analizując skutki emisji gazów do atmosfery, także w powiązaniu z towarzyszącymi branżami, wykorzystującymi produkty końcowe procesu spalania paliw. W każdym przypadku występuje szereg interakcji pomiędzy czynnikami technicznymi, ekonomicznymi, socjalnymi i środowiskowymi. Oszacowanie zysków i strat wymaga analizy wpływu negatywnych czynników i korzyści uzyskanych w każdym elemencie tego systemu.

LITERATURA

1. Ustawa z 14 grudnia 2012 r. o odpadach. *Dziennik Ustaw RP* 2018, poz. 992.
2. J.E. SANTIBANEZ-AGUILAR, J.M. PONCE-ORTEGA, J. BETZABE GONZALEZ-CAMPOS, M. SERNA-GONZALEZ, M.M. EL-HALWAGI: Optimal planning for the suitable utilization of municipal solid waste. *Waste Management* 2013, Vol. 33, No. 12, pp. 2607–2622.
3. E. IACOVIDOU, J. HAHLADAKIS, I. DEANS, C. VELIS, P. PURNELL: Technical properties of biomass and solid recovered fuel (SRF) co-fired with coal: Impact on multi-dimensional resource recovery value. *Waste Management* 2018, Vol. 73, pp. 535–545.
4. J.R. FYFFE, A.C. BRECKEL, A.K. TOWNSEND, M.E. WEBBER: Use of SRF residue as alternative fuel in cement production. *Waste Management* 2016, Vol. 47, pp. 276–284.
5. A. SEVER AKDAĞ, A. ATIMTAY, F.D. SANIN: Comparison of fuel value and combustion characteristics of two different RDF samples. *Waste Management* 2016, Vol. 47, pp. 217–224.
6. P.H. BRUNNER, H. RECHBERGER: Waste to energy – key element for sustainable waste management. *Waste Management* 2015, Vol. 37, pp. 3–12.
7. M. ŻMIGRODZKI: Innowacyjność w energetyce. *Zeszyty Naukowe WSEI – Administracja* 2015, vol. 5, nr 1, ss. 13–26.
8. E.C. RADA, G. ANDREOTTOLA: RDF/SRF: Which perspective for its future. *Waste Management* 2012, Vol. 32, No. 6, pp. 1059–1060.
9. R. WASIELEWSKI, B. TORA: Bariery stosowania paliw alternatywnych w energetyce. *Polityka Energetyczna* 2008, vol. 11, nr 2, ss. 129–136.
10. M.F. CASADO, J.A. RIVERA, E.B. GARCIA, R.E. GUADRADO, M.F. LIORENTE, R.B. SEVILLANO, A.P. DELGADO: Classification and characterization of SRF produced from different flows of processed MSW in the Navarra region and its co-combustion performance with olive tree pruning residues. *Waste Management* 2016, Vol. 47, pp. 206–216.
11. M. GROSSO, S. DELLAVEDOVA, L. RIGAMONTI, S. SCOTTI: Case study of an MBT plant producing SRF for cement kiln co-combustion, coupled with a bioreactor landfill for process residues. *Waste Management* 2016, Vol. 47, pp. 267–275.
12. L. del ZOTTO, A. TALLINI, G. di SIMONE, G. MOLINARI, L. CEDOLA: Energy enhancement of solid recovered fuel within systems of conventional thermal power generation. *Energy Procedia* 2015, Vol. 81, pp. 319–338.
13. S. DOŁĘGOWSKA: Biopaliwa – krok ku zrównoważonemu rozwojowi. *Problemy Ekorozwoju* 2009, vol. 4, nr 1, ss. 117–121.
14. S. CORNELISSEN, M. KOPER, Y.Y. DENG: The role of bioenergy in fully sustainable global energy. *Biomass Bioenergy* 2012, Vol. 41, pp. 21–33.
15. P. VAINIKKA, E. TSUPARI, K. SIPILA, M. HUPA: Comparing the greenhouse gas emission from three alternative waste combustion concepts. *Waste Management* 2012, Vol. 32, pp. 426–437.
16. M.K. WIDOMSKI, P. GLEŃ, G. ŁAGÓD: Zrównoważone składowiska jako końcowy etap systemu gospodarki odpadami komunalnymi. *Problemy Ekorozwoju* 2017, vol. 12, nr 1, ss. 147–155.
17. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach. *Dziennik Ustaw RP* 2015, poz. 1277.
18. P. NANOU, M.C. CARBO, J.H.A. KIEL: Detailed mapping of the mass and energy balance of a continuous biomass torrefaction plant. *Biomass and Bioenergy* 2016, Vol. 89, pp. 67–77.
19. Komunikat Komisji do Parlamentu, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Znaczenie przetwarzania odpadów w energię w gospodarce o obiegu zamkniętym. Komisja Europejska, COM(2017) 34 final, Bruksela 2017.
20. M. ROUTHET, P. QUICKER: Energetic utilization of refuse derived fuels from landfill mining. *Waste Management* 2017, Vol. 62, pp. 101–117.
21. G. PASSAMANI, M. RAGAZZI, V. TORRETTA: Potential SRF generation from a closed landfill in northern Italy. *Waste Management* 2016, Vol. 47, pp. 157–163.
22. The European Environment: State and Outlook 2010 – Synthesis. 4: Natural resources and waste. European Environment Agency, Copenhagen 2010, pp. 69–89.
23. A. MARZEC: Raport Europejskiej Agencji Środowiska. Zasoby naturalne a odpady. *Przegląd Komunalny* 2011, nr 6, ss. 20–21.
24. R. ROSICKI: Międzynarodowe i europejskie koncepcje zrównoważonego rozwoju. *Przegląd Naukowo-Metodyczny* 2010, nr 4, ss. 44–56.
25. Komunikat Komisji. Europa 2010. Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu. Komisja Europejska, COM(2010) 2020 wersja ostateczna, Bruksela 2010.
26. A. PULTOWICZ: Przesłanki rozwoju rynku odnawialnych źródeł energii w Polsce w świetle idei zrównoważonego rozwoju. *Problemy Ekorozwoju* 2009, vol. 4, No. 1, ss. 109–115.
27. M. SAMI, K. ANNAMALAI, M. WOOLDRIDGE: Co-firing of coal and biomass fuel blends. *Progress in Energy and Combustion Science* 2001, Vol. 27, pp. 171–214.
28. H. WU, P. GLARBORG, F.J. FRANSEN, K. DAM-JOHANSEN, P.A. JENSEN: Co-combustion of pulverized coal and solid recovered fuel in an entrained flow reactor. *Fuel* 2011, Vol. 90, pp. 1980–1991.
29. M. NOWAK, M. SZUL: Possibilities for application of alternative fuels in Poland. *Archives of Waste Management and Environmental Protection* 2016, Vol. 18, No. 1, pp. 33–44.
30. D. VAMVUKA, S. SFOKIOTAKIS, S. SAXIONI: Evaluation of urban wastes as promising co-fuels for energy production – a TG/MS study. *Fuel* 2015, Vol. 147, pp. 170–183.
31. L. LOMBARDI, E. CARNEVALE, A. CORTI: A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. *Waste Management* 2015, Vol. 37, pp. 26–44.
32. R. SARC, K.E. LORBER: Production quality and quality assurance of refuse derived fuels (RDFs). *Waste Management* 2013, Vol. 33, pp. 1825–1834.
33. R. WASIELEWSKI, J. HRABAK: The use of alternative fuels in power boilers. *Archives of Waste Management and Environmental Protection* 2013, Vol. 15, No. 4, pp. 29–36.
34. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 9 grudnia 2014 r. sprawie katalogu odpadów. *Dziennik Ustaw RP* 2014, poz. 1923.
35. A. RAHMAN, M.G. RASUL, M.M.K. KHAN, S. SHARMA: Recent development on uses of alternative fuels in cement manufacturing process. *Fuel* 2015, Vol. 145, pp. 84–99.
36. S.T. WAGLAND, P. KILGALLON, R. COVENEY, A. GARG, R. SMITH, P.J. LONGHURST, S.J.T. POLLARD, N. SIMMS: Comparison of coal/solid recovered fuel (SRF) with coal/refuse derived fuel in fluidized bed reactor. *Waste Management* 2011, Vol. 31, pp. 1176–1183.
37. A. BIAŁOWIEC, J. PULKA, P. MANCZARSKI, J. GOŁASZEWSKI: The RDF/SRF torrefaction: An effect of temperature on characterization of the product – carbonized refuse derived fuel. *Waste Management* 2017, Vol. 70, pp. 91–100.
38. Dyrektywa 2000/76/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z 4 grudnia 2000 r. w sprawie spalania odpadów.
39. PN-EN 15375:2011: Stałe paliwa wtórne – Terminologia, definicje i określenia.
40. D. GARCES, E. DIAZ, H. SASTRE, S. ORDONEZ, J.M. GONZALEZ-LA FUENTE: Evaluation of the potential different high calorific waste fractions for the preparation of solid recovered fuels. *Waste Management* 2016, Vol. 47, pp. 164–173.
41. D. MONTANE, S. ABELLO, X. FARRIOL, C. BERRUECO: Volatilization characteristics of solid recovered fuels SRFs. *Fuel Processing Technology* 2013, Vol. 113, pp. 90–96.

42. PN-EN 15359:2012: Stałe paliwa wtórne – Wymagania techniczne i klasy.
43. C. BESSI, L. LOMBARDI, R. MEONI, A. CANOVAI, A. CORTI: Solid recovered fuel: An experiment on classification and potential applications. *Waste Management* 2016, Vol. 47, pp. 184–194.
44. M. WZOREK, A. KRÓL: Ocena jakości paliw z odpadów stosowanych w procesach współspalania z węglem. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych* 2012, nr 5, ss. 444–453.
45. C. VRANCKEN, P.J. LONGHURST, S.T. WAGLAND: Critical review of real-time methods for solid waste characterization: Informing material recovery and fuel production. *Waste Management* 2017, Vol. 61, pp. 40–57.
46. W.K.H. ARIYARATNE, Ø. ASGAUTSEN, M.C. MELAAEN, K. EINE, L.-A. TOKHEIN: Determination of fossil fraction of refuse derived fuel by the selective dissolution method in calorific value basis: Development of simplified method. *Fuel* 2012, Vol. 98, pp. 41–47.
47. E.C. RADA: Present and future of SRF. *Waste Management* 2016, Vol. 47, pp. 155–156.
48. G. DUNNU, J. MAIER, T. HILBER, G. SCHEFFKNECHT: Characterization of large solid recovered fuel particles for direct co-firing in large PF power plants. *Fuel* 2009, Vol. 88, pp. 2403–2408.
49. J.L. EASTERLY, M. BURNHAM: Overview of biomass and waste fuel resources for power production. *Biomass and Bioenergy* 1996, Vol. 10, No. 2–3, pp. 79–92.
50. A. JOHNSON, L.J.J. CATALAN, S.D. KIRADE: Characterization and evaluation of fly ash from co-combustion of lignite and wood pellets for use as cement admixture. *Fuel* 2010, Vol. 89, pp. 3042–3050.
51. C.S. PSOMOPOULOS: Residue derived fuels as an alternative fuel for the Hellenic Power Generation Sector and their potential for emission reduction. *AIMS Energy* 2014, Vol. 2, No. 3, pp. 321–341.
52. A. SKAWIŃSKA, B. MICEK, J. HRABAK: Ocena wartości opałowej oraz zawartości chloru i siarki w wybranych odpadach w aspekcie ich energetycznego wykorzystania. *Ochrona Środowiska* 2017, vol. 39, nr 1, ss. 39–43.
53. E. MOKRZYCKI, A. ULIASZ-BOCHEŃCZYK: Paliwa alternatywne z odpadów dla energetyki. *Polityka Energetyczna* 2005, t. 8, zeszyt specjalny, ss. 507–514.
54. R. WASIELEWSKI, A. SOBOLEWSKI: Uwarunkowania i perspektywy wykorzystania paliw z odpadów do generowania energii elektrycznej i ciepła. *Przemysł Chemiczny* 2015, nr 4, ss. 1000–1005.
55. R. WASIELEWSKI, B. TORA: Stałe paliwa wtórne. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2009, vol. 33, nr 4, ss. 309–315.
56. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy.
57. A.M.L. NASER, E.E.S. LORA, J.C.E. PALACIO, M.H. ROCHA, J.C. RESTREPO, O.J. VENTURINI, A. RATNER: Refuse derived fuel (RDF) production and gasification in a pilot plant integrated with ab Otto cycle ICE through Aspen plus™ modeling: Thermodynamic and economic viability. *Waste Management* 2017, Vol. 69, pp. 187–201.
58. A.K. DALAI, N. BATA, I. ESWARAMOORTHY, G.J. SCHOENAU: Gasification of refuse derived fuel in fixed bed reactor for syngas production. *Waste Management* 2009, Vol. 29, No. 1, pp. 252–258.
59. G. DUNNU, K.D. PANOPOULOS, S. KARELLAS, J. MAIER, S. TOULIOU, G. KOUFODIMOS, I. BOUKIS, E. KAKARAS: The solid recovered fuel Stabilat®: Characteristics and fluidized bed gasification tests. *Fuel* 2012, Vol. 93, pp. 273–283.
60. F. PINTO, R.N. ANDRE, C. CAROLINO, M. MIRANDA, P. ABELHA, D. DIREITO, N. PERDIKARIS, I. BOUKIS: Gasification improvement of poor quality solid recovered fuel (SRF): Effect of using minerals and biomass wastes blends. *Fuel* 2014, Vol. 117, pp. 1034–1044.
61. M.C. di LEONARDO, M. FRANZESE, G. COSTA, R. GAVASCI, F. LOMBARDI: The application of SRF vs. RDF classification and specifications to the material flocks of two mechanical-biological treatment plants of Rome: Comparison and implications. *Waste Management* 2016, Vol. 47, pp. 195–205.
62. J. TINTNER, E. SMIDT, K. BOHM, E. BINNER: Investigations of biological processes in Austrian MBT plants. *Waste Management* 2010, Vol. 30, No. 10, pp. 1903–1907.
63. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 8 czerwca 2016 r. w sprawie warunków technicznych kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów. *Dziennik Ustaw RP* 2016, poz. 847.
64. R. WASIELEWSKI, M. BAŁAZIŃSKA: Odzysk energii z odpadów w aspekcie kwalifikacji wytworzonej energii elektrycznej i ciepła jako pochodzących z odnawialnego źródła energii oraz uczestnictwa w systemie handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych. *Inżynieria Ekologiczna* 2017, vol. 18, nr 5, ss. 170–178.
65. M. DIAZ-SOMOANO, S. UNTERBERGER, K.R.G. HEIN: Prediction of trace element volatility during co-combustion processes. *Fuel* 2006, Vol. 85, pp. 1087–1093.
66. A.S. MYRIN, P.-E. PERSSON, S. JAHNSSON: The influence of food waste on dioxin formation during incineration of refuse-derived fuels. *Fuel* 2014, Vol. 132, pp. 165–169.
67. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z 21 stycznia 2016 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu. *Dziennik Ustaw RP* 2016, poz. 108.
68. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 30 października 2014 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody. *Dziennik Ustaw RP* 2014, poz. 1542.
69. G. WIELGOSIŃSKI: Technologie oczyszczania spalin w spalarniach odpadów – i nie tylko. *Nowa Energia* 2013, vol. 31, nr 1, ss. 32–35.

Żygadło, M. Selected Aspects of Refuse-Derived Fuel Co-Combustion. *Ochrona Środowiska* 2018, Vol. 40, No. 2, pp. 39–44.

Abstract: Municipal waste management requires national regulations to be adapted to the provisions of EU directives, especially in respect of the so-called waste management hierarchy. Segregation, recycling and raw material recovery, including energy recovery from waste, receive special attention in waste management. In particular, recovery of high-energy fractions from the municipal waste stream may constitute a potential substitute energy source for co-combustion with fossil fuels. This brings measurable environmental effects in terms of climate protection as carbon dioxide emissions from industrial installations in the biomass recovery process are considered as zero. Further, it serves diversification of energy sources,

saves the natural resources and eliminates the need for land-fill storage of high-calorific waste in large amounts. In Poland, co-combustion of refuse-derived fuels (RDF) is carried out in cement plants on a wide scale. In order to meet the cement market demand, nearly 200 RDF producers emerged and currently there is a significant RDF overproduction in relation to the real demand. There are still formal and technical barriers that prevent RDF combustion in the power sector and district heating, while it has already been successfully implemented in the highly developed countries. The paper investigates selected legal and technical aspects that hinder RDF usage outside the cement industry.

Keywords: Refuse-derived fuels, climate protection, diversification of energy sources, protection of natural resources, waste-energy conversion, waste co-combustion.