

PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

Nr 454

**Ekonomika ochrony środowiska
i ekoinnowacje**



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2016

Redakcja wydawnicza: Elżbieta Kożuchowska
Redakcja techniczna i korekta: Barbara Łopusiewicz
Łamanie: Małgorzata Myszkowska
Projekt okładki: Beata Dębska

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania
znajdują się na stronach internetowych
www.pracnaukowe.ue.wroc.pl
www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Publikacja udostępniona na licencji Creative Commons
Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 3.0 Polska
(CC BY-NC-ND 3.0 PL)



© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2016

ISSN 1899-3192
e-ISSN 2392-0041
ISBN 978-83-7695-621-3

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Zamówienia na opublikowane prace należy składać na adres:
Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław
tel./fax 71 36 80 602; e-mail: econbook@ue.wroc.pl
www.ksiegarnia.ue.wroc.pl

Druk i oprawa: TOTEM

Spis treści

| | |
|------------|---|
| Wstęp..... | 9 |
|------------|---|

Część 1. Współczesne problemy ekonomiki ochrony środowiska

| | |
|---|----|
| Anna Bisaga: Zarządzanie funkcją środowiskową w rolnictwie – źródło nowych rent gospodarstw rolnych / The management of the environmental function in agriculture – the source of new pensions of agricultural households..... | 13 |
| Zbigniew Brodziński, Katarzyna Brodzińska: Uwarunkowania rozwoju rynku zielonych miejsc pracy na przykładzie podmiotów zajmujących się przetwórstwem biomasy na cele energetyczne / Conditions of green jobs market development based on the example of businesses processing biomass for energy purposes..... | 22 |
| Agnieszka Ciechelska: Analiza skuteczności i zrównoważenia polskiego systemu gospodarki odpadami komunalnymi / Analysis of the effectiveness and sustainability of the Polish municipal waste management system..... | 31 |
| Ilisio Manuel de Jesus, Natalia Sławińska: Kształtowanie się cen gruntów rolnych w Polsce na tle wybranych krajów Unii Europejskiej / Price formation of agricultural land in Poland on the background of selected countries of the European Union..... | 45 |
| Anna Dubel: Efektywność ekonomiczna inwestycji na obszarach szczególnego zagrożenia powodzią / Economic efficiency of investment on areas of special flood-related hazards..... | 52 |
| Piotr Jeżowski: Techniczne uwarunkowania rozwoju gospodarki niskoemisyjnej w Polsce / Technical conditions for development of the low emission economy..... | 63 |
| Waldemar Kozłowski: Ocena wskaźnikowa inwestycji infrastruktury wodno-kanalizacyjnej w aspekcie zrównoważonego rozwoju / Evaluation of investment ratio water supply and sewerage infrastructure in the context of sustainable development..... | 79 |
| Barbara Kryk: Rachunek korzyści ekologicznych z inwestycji termomodernizacyjnych na przykładzie spółdzielni mieszkaniowych województwa zachodniopomorskiego / Account of environmental benefits from thermo-modernization investment on the example of cooperative housing of West Pomeranian Voivodeship..... | 92 |

| | |
|---|-----|
| Łukasz Kuźmiński, Łukasz Szalata, Bogusław Fiedor, Jerzy Zwoździak: Ocena zmienności ryzyka zagrożenia powodziowego w dorzeczu Odry na podstawie rozkładów półrocznych maksimum stanów wód / The rating of volatility of flood hazard risk in the basin of the Oder River based on biannual distributions of maximums of water levels..... | 102 |
| Romuald Ogrodnik: Wskaźniki efektywności działalności środowiskowej kopalń węgla kamiennego / Environmental performance indicators of hard coal mines..... | 117 |
| Jarosław Pawłowski: Zasadność ekoratingu samochodów osobowych / Ap- propriateness of eco-rating of passenger cars..... | 131 |
| Anna Śliwińska: Metodyka poszerzenia systemu i alokacji w ocenie cyklu życia procesów wielofunkcyjnych / System expansion and allocation methodology in a life cycle assessment of multi-functional processes..... | 141 |

Część 2. Postęp techniczny a ekonomia środowiska oraz zasobów naturalnych

| | |
|--|-----|
| Sylwia Dziedzic: Ekoinnowacyjne zachowania zakupowe klientów / Eco-in- novative purchasing behavior of customers..... | 159 |
| Stanisław Famielec, Józefa Famielec: Ekonomiczne i techniczne uwarunko- wania procesów spalania odpadów komunalnych / Economic and techni- cal determinants of municipal solid waste incineration..... | 174 |
| Ryszard Jerzy Konieczny: Zapotrzebowanie energetyczne wiatrowego aera- tora pulweryzacyjnego wody w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkie- go / Energy demand of wind-driven pulverising aerator under conditions of Lake Rudnickie Wielkie..... | 186 |
| Małgorzata Rutkowska-Podolowska, Jolanta Pakulska: Nakłady inwesty- cyjne na gospodarkę odpadami / Capital expenditure on waste management | 196 |
| Małgorzata Rychlik, Bartosz Pieczaba, Karol Statkiewicz: Nawilżanie po- wietrza w komorze pulsofluidalnej / Air humidification in the pulsed fluid bed..... | 208 |

Część 3. Społeczne aspekty gospodarowania zasobami środowiska

| | |
|---|-----|
| Joanna Gajda: Zarządzanie pracownikami pokolenia Y nowym wyzwaniem dla pracodawców / Sustainable management of Generation Y employees as a new challenge for employers..... | 217 |
| Katarzyna Gryga: Społeczna odpowiedzialność biznesu jako narzędzie zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstwa górniczego / Corporate social responsibility as a tool of sustainable development in mining company ... | 229 |

| | |
|--|-----|
| Agnieszka Mikucka-Kowalczyk: Działania społecznie odpowiedzialne podejmowane przez KGHM Polska Miedź SA a koncepcja zrównoważonego rozwoju / Socially responsible actions taken by KGHM Polska Miedź SA vs. the concept of sustainable development..... | 239 |
| Sylwia Słupik: Rola partycypacji społecznej w kreowaniu lokalnego zrównoważonego rozwoju / The role of public participation in the creation of local sustainable development | 252 |

Wstęp

Rozwój zrównoważony, a zwłaszcza implementacja opartej na nim strategii tworzy wiele wyzwań dla praktyki ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami (w tym usługami). Pojawiają się one na wielu płaszczyznach, między innymi w postaci ekonomiki ochrony środowiska, którą uznać można za najwcześniejszą w polskiej literaturze, wywodzącą się jeszcze z sozologii, część badań nad nową proekologiczną strategią rozwoju społeczno-ekonomicznego, a także w formie studiów nad rolą postępu technicznego w ekonomii środowiska i zasobów naturalnych. Trzeci praktyczny wymiar problemów ochrony środowiska i korzystania ze środowiska przyrodniczego dotyczy – zyskującego na znaczeniu – aspektu społecznego. Powyższe grupy zagadnień pojawiły się w wielu opracowaniach przygotowanych i przedstawionych na konferencji.

Problemy ekonomiki ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami przyjęły postać między innymi: (1) związków pomiędzy rolnictwem a środowiskiem przyrodniczym i gospodarowania glebą, (2) gospodarowania odpadami komunalnymi, (3) gospodarowania wodą i ściekami, (4) wyzwań niskiej emisji i termoizolacji budynków, (5) „zielonych” miejsc pracy, a także (6) zagrożonych inwestycji i ubezpieczeń ekologicznych czy (7) analizy wskaźników efektywności ekonomiczno-ekologicznej realizowanych przedsięwzięć.

Postęp techniczny jest kolejną, istotną płaszczyzną, na której pojawiają się i są rozwiązywane problemy praktyczne w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego i użytkowania jego zasobów czy usług. Uczestnicy konferencji podjęli w tym zakresie między innymi takie zagadnienia, jak: (1) techniczne problemy gospodarowania odpadami, (2) techniczne wyzwania energetyki odnawialnej, a także: (3) ekoinnowacyjne zachowania konsumentów czy (4) ekoinnowacje w produkcji żywności.

Wymiar społeczny ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami (w tym usługami) rozwija się szybko w ostatnich latach wraz ze zmianami w świadomości ekologicznej ludzi. Ta swoista „socjologia ekologiczna” pojawia się coraz częściej w badaniach naukowych i prezentowanych publikacjach. Wśród uczestników konferencji przyjęły one postać między innymi: (1) społecznej odpowiedzialności biznesu, (2) partycypacji obywatelskiej czy (3) ekologicznego zarządzania zespołami ludzkimi.

Zachęcając Czytelników do zapoznania się z przedstawionymi opracowaniami, wyrazić można dwa oczekiwania – interesującej lektury oraz nadziei, że ta niezwykle istotna, z punktu widzenia rozwoju zrównoważonego i trwałego, problematyka będzie się nadal szybko rozwijać, z korzyścią dla środowiska przyrodniczego i ludzkiej cywilizacji.

Agnieszka Becla

Stanisław Famielec

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
e-mail: stanislaw.famielec@ur.krakow.pl

Józefa Famielec

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie
e-mail: famielej@uek.krakow.pl

EKONOMICZNE I TECHNICZNE UWARUNKOWANIA PROCESÓW SPALANIA ODPADÓW KOMUNALNYCH

ECONOMIC AND TECHNICAL DETERMINANTS OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION

DOI: 10.15611/pn.2016.454.14

JEL Classification: Q53

Streszczenie: Odpady to nie tylko zagrożenie i zanieczyszczenie środowiska, ale i źródło surowców i materiałów oraz obszar odpowiedzialności za przyrodę. W zarządzaniu gospodarką odpadami komunalnymi następuje odchodzenie od składowania w kierunku recyklingu i odzysku, zwłaszcza energii z udziałem termicznego ich przetwarzania, odbywającego się w spalarniach. Proces spalania odpadów komunalnych zastępuje dominujące dotąd składowanie odpadów. Jest uzasadniony ekonomicznie i możliwy technicznie, regulowany w prawie UE i w prawie krajowym.

Słowa kluczowe: odpady, odpady komunalne, czystość, spalanie, energia ze spalania.

Summary: Waste is not only an environmental threat or contaminant but also a source of materials as well as a sphere of human responsibility for nature. In the municipal solid waste management there is an observable tendency of quitting landfilling as a method of waste utilization towards reuse and recycling, also including reuse of energy in incineration plants. The process of MSW incineration becomes a substitute of waste landfilling, which predominated in past decades. It is economically sensible, technically feasible and regulated by the EU and Polish law.

Keywords: waste, municipal solid waste, cleanliness, incineration, energy form incineration.

1. Wstęp

Odpady komunalne to atrybut wszelkich procesów konsumpcji środków żywności oraz dóbr trwałego użytku. Wytwarzane są przez indywidualne osoby w gospodarstwach domowych, ale ich zbieranie, transport, zagospodarowanie należy do zadań

własnych gminy. Tezą opracowania jest uznanie spalania odpadów komunalnych za niezbędne ogniwo, finalizujące zintegrowane i zrównoważone gospodarowanie odpadami komunalnymi. Celem opracowania jest określenie ekonomicznych i technicznych uwarunkowań procesu spalania odpadów komunalnych oraz wskazanie ich uregulowań prawnych (UE i krajowych). Do istotnych uwarunkowań ekonomicznych zaliczono zasadę „zanieczyszczający płaci”, w ramach zaś identyfikacji uwarunkowań technicznych pokazano specyfikę procesu termicznego przetwarzania odpadów komunalnych w spalarniach. Zestawiono spalarnie funkcjonujące w Polsce w 2016 roku. Wskazano na ważniejsze problemy dalszego rozwoju tej metody unieszkodliwiania i wykorzystania odpadów komunalnych w Polsce. Opracowanie ma charakter autorski i dyskontuje własne doświadczenia badawcze autorów i ich udział w pracach nad zintegrowanym systemem gospodarki odpadami komunalnymi w Krakowie.

Integracja aspektów ekonomicznych i technicznych jest niezbędna do skutecznego zarządzania systemem gospodarki odpadami komunalnymi, wobec ich odrębnego dotąd traktowania oraz braku zrozumienia współzależności tych uwarunkowań w nauce i polityce.

2. Odpady komunalne – kategoria lokalna, globalna i polityczna

Odpady to każda substancja lub przedmiot, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do których pozbycia się jest obowiązany [Ustawa z 14 grudnia 2012]. Odpady są obiektywnym i nieuniknionym zjawiskiem w gospodarowaniu i mogą stanowić źródło surowców wtórnych oraz paliw, w tym sensie mogą być pozytywne gospodarczo i społecznie. Nie mają takiego atrybutu odpady niebezpieczne, uznawane za takie ze względu na ich skład i takie właściwości, jak: szkodliwe, toksyczne, żrące, rakotwórcze, mutagenne itp. Wśród kryteriów klasyfikacji odpadów szczególnego znaczenia nabrało źródło ich powstawania. Jednym z nich jest gospodarstwo domowe, zamieszkiwane przez mieszkańców społeczności lokalnej, gospodarujących i zarządzanych przez jednostki samorządu terytorialnego. Mają one ścisły związek z procesami konsumpcji osób fizycznych, a te mają miejsce nie tylko w gospodarstwie domowym, lecz także w działalności przemysłowej, usługowo-handlowej, w funkcjonowaniu instytucji.

Odpady, w tym odpady komunalne, to problem makroekonomiczny – jest on integralnym elementem procesów produkcji, konsumpcji, inwestowania, a więc tworzenia i podziału PKB. Występuje w całym cyklu życia gospodarczego i społecznego – od pozyskania i zużycia zasobów odnawialnych i nieodnawialnych, zużycia innych świadczeń procesów przyrodniczych, jest źródłem marnotrawstwa zasobów i szansą na ich ochronę oraz wykonanie testamentu dla następnych pokoleń. Powstają w sposób nieunikniony, ale można ograniczać ich wytwarzanie przez zmianę świadomości i stylu oraz struktury konsumpcji (zapobieganie i prewencję). Powstałe odpady wymagają zagospodarowania.

Przez pojęcie gospodarki odpadami rozumie się wszelkie przedsięwzięcia, działania czy też procedury, które wiążą się z unikaniem i ograniczaniem powstawania odpadów, ich unieszkodliwianiem i utylizacją oraz odzyskiem surowców wtórnych, a następnie ich ponownym użyciem. Pojęcie to obejmuje działania zarówno w zakresie planowania, jak i realizacji przedsięwzięć i technologii ekologicznych oraz ich kontroli [Folmer, Gabel, Opschoor (red.) 1996].

Zintegrowana i zrównoważona gospodarka odpadami komunalnymi oznacza [Rogall 2010]:

- działania strategiczne na rzecz produkcji, konsumpcji, polityki ochrony środowiska, polityki społecznej;
- ograniczenie wytwarzania i szkodliwości odpadów w ogóle;
- zapewnienie bezpiecznego, dobrze kontrolowanego i zorganizowanego postępowania z odpadami w ogóle – ramy gospodarki odpadami mają charakter horyzontalny;
- skoordynowany zestaw regulacji prawnych dotyczących oczyszczania i unieszkodliwiania odpadów (skoordynowany pakiet dyrektyw i ustaw);
- stosowanie najlepszych możliwych technik w danym obszarze, w danym regionie;
- stosowanie zasady „zanieczyszczający płaci”.

Równoważenie gospodarki odpadami komunalnymi odbywa się na kilku poziomach: prawnym, ekonomicznym, finansowym, organizacyjnym, technologicznym, społecznym, politycznym. Ten ostatni wymiar nabiera szczególnego znaczenia. Z Konstytucji RP wynika, że władze publiczne prowadzą politykę zapewniającą bezpieczeństwo ekologiczne współczesnemu i przyszłym pokoleniom, a ochrona środowiska jest obowiązkiem władz publicznych. Władze publiczne wspierają działania obywateli na rzecz ochrony i poprawy stanu środowiska. Utrzymanie czystości i porządku w gminach należy do obowiązkowych zadań własnych gminy [Ustawa z 8 marca 1990]. Gminy zapewniają czystość i porządek na swoim terenie i tworzą warunki niezbędne do ich utrzymania, a w szczególności: tworzą warunki do wykonywania prac związanych z utrzymaniem czystości i porządku na terenie gminy lub zapewniają wykonanie tych prac przez tworzenie odpowiednich jednostek organizacyjnych. Zapewniają budowę, utrzymanie i eksploatację, własnych lub wspólnych z innymi gminami, regionalnych instalacji do przetwarzania odpadów komunalnych – o ile obowiązek budowy takich instalacji wynika z wojewódzkiego planu gospodarki odpadami, stacji zlewnych, w przypadku gdy podłączenie wszystkich nieruchomości do sieci kanalizacyjnej jest niemożliwe lub powoduje nadmierne koszty, instalacji i urządzeń do zbierania, transportu i unieszkodliwiania zwłok zwierzęcych lub ich części. Obejmują wszystkich właścicieli nieruchomości na terenie gminy systemem gospodarowania odpadami komunalnymi [Ustawa z 13 września 1996].

3. Zasada „zanieczyszczający płaci” w gospodarce odpadami komunalnymi

Zasada „zanieczyszczający płaci” oznacza, że sprawcy szkody w środowisku (producent odpadów komunalnych – konsument) powinni ponosić koszty jej uniknięcia lub zrekompensowania. Ważniejsze reguły tej zasady dają się ująć następująco:

- w miarę identyfikowania zanieczyszczającego należy unikać publicznego finansowania szkód w środowisku;
- zanieczyszczający powinien być zobowiązany do podejmowania inwestycji niezbędnych do osiągnięcia określonych standardów i norm jakości w zbieraniu, transporcie i zagospodarowaniu odpadów;
- opłata za zagospodarowanie odpadów komunalnych stanowi podstawowy instrument ekonomiczny wdrażania zasady „zanieczyszczający płaci”.

Rada gminy określa, w drodze uchwały, górne stawki opłat ponoszonych przez właścicieli nieruchomości za usługi odbierania odpadów komunalnych, stosując zróżnicowanie stawki w zależności od gęstości zaludnienia na danym obszarze gminy oraz odległości od miejsca unieszkodliwiania odpadów komunalnych [Ustawa z 13 września 1996]. Rada gminy, określając stawki opłat dla właścicieli nieruchomości, stosuje niższe stawki, jeżeli odpady komunalne są zbierane i odbierane w sposób selektywny.

Stawki opłat za gospodarowanie odpadami komunalnymi uchwalane są na podstawie oszacowanych kosztów gospodarki odpadami komunalnymi w gminie, przy zastosowaniu wybranego przelicznika: na liczbę mieszkańców zamieszkujących daną nieruchomość, ilość zużytej wody z danej nieruchomości lub powierzchnię lokalu mieszkalnego, co budzi – jak dotąd – sporo kontrowersji ekonomicznych, politycznych i społecznych.

Uchwalone przez radę gminy stawki opłat za gospodarowanie odpadami komunalnymi stanowią dochód gminy. Z pobranych opłat za gospodarowanie odpadami komunalnymi gmina finansuje funkcjonowanie systemu gospodarowania odpadami komunalnymi, ponosząc koszty:

- odbierania, transportu, zbierania, odzysku i unieszkodliwiania odpadów komunalnych;
- tworzenia i utrzymania punktów selektywnego zbierania odpadów komunalnych;
- obsługi administracyjnej tego systemu.

Prawo pozwala realizować zadania własne w zakresie utrzymania czystości w gminie i zagospodarowania odpadów komunalnych w różny sposób, w tym przez związki międzygminne. Gmina jest obowiązana utworzyć co najmniej jeden stacjonarny punkt selektywnego zbierania odpadów komunalnych, samodzielnie lub wspólnie z inną gminą lub gminami.

Przykładowo, Prezydent Miasta Krakowa powierzył zarządzanie gospodarką odpadami Krakowa Miejskiemu Przedsiębiorstwu Oczyszczania Miasta Sp. z o.o.,

zachowując prawo nadzoru, koordynacji i kontroli skuteczności tego procesu. Rada Gminy Kraków zdecydowała o podziale miasta na pięć sektorów odbioru odpadów, przypisując do każdego z nich 3–4 dzielnice.

Zamknięciem systemu gospodarki odpadami komunalnymi oraz dopełnieniem kosztów, które powinna finansować opłata ponoszona przez właścicieli nieruchomości, są spalarnie.

4. Proces termicznego przekształcania odpadów komunalnych

W praktyce najczęściej stosowaną metodą unieszkodliwiania odpadów komunalnych było ich składowanie [Szyjko 2013]. Odnotowywane są nawet przypadki nielegalnego spalania odpadów w zakładowych i przydomowych kotłowniach i piecach [Wielgosiński, Namiecińska 2016], co niesie ze sobą poważne zagrożenie skażenia atmosfery. W dyrektywie 75/442/EWG wprowadzona została hierarchia postępowania z odpadami (dotyczy to także odpadów komunalnych), obowiązująca wszystkie państwa Unii Europejskiej. Hierarchia ta podaje pożądaną kolejność działań związaną z gospodarką odpadami – zawsze preferowane jest działanie, które jest wyżej w hierarchii: zapobieganie, przygotowywanie do ponownego użycia, recykling, inne metody odzysku, np. odzysk energii, unieszkodliwianie.

Biorąc pod uwagę hierarchię postępowania z odpadami, składowanie jest najmniej akceptowanym, skrajnie niekorzystnym, a w przypadku niektórych grup odpadów wręcz niedozwolonym rozwiązaniem dotyczącym zagospodarowania odpadów. Rozwój technologii zagospodarowania odpadów zmierza w szczególności do odzysku energii. Przez odzysk energii rozumieć należy przede wszystkim procesy termiczne (spalania), które umożliwiają odzysk energii cieplnej.

Termin „spalanie” jest definiowany na wiele sposobów. Najogólniej ujmując, jest to proces utleniania przebiegający z wydzieleniem dużej ilości ciepła i energii promienistej (świeceniem). Potocznie spalanie oznacza energiczne łączenie się materii organicznej odpadów z tlenem [Chodkowski (red.) 1982].

Procesy termiczne umożliwiają [Nemerow 2007]:

1. odzysk energii, co ma istotne znaczenie z racji wzrostu cen energii pochodzącej z konwencjonalnych źródeł (gaz ziemny, ropa);
2. zmniejszenie objętości odpadów – stałe pozostałości po procesach termicznych posiadają wielokrotnie mniejszą objętość niż odpady, ponadto mogą zostać poddane dalszej obróbce w kierunku odzysku zawartych w nich substancji.

Spalanie stało się w ostatnich kilkadziesiąt lat bardzo ważną metodą unieszkodliwiania odpadów komunalnych, ale też przemysłowych, a zwłaszcza niebezpiecznych. Niezbędne jest dokładne poznanie odpadów przeznaczonych do spalania, by dobrać właściwą technologię termicznego przetwarzania. W przypadku odpadów komunalnych istotnymi czynnikami są duży udział części palnych oraz możliwość użytecznego zagospodarowania powstających odpadów wtórnych. Odpady komunalne o odpowiednich właściwościach (wartość opałowa, dostępność,

powietrze jako utleniacz itp.) uznawane są za paliwo i spełniają rolę nośnika energii [Szyjko 2013]. Głównym celem ich spalania jest przekształcenie odpadów do stanu niezagrażającego środowisku i ludziom, a uzyskane w ten sposób korzyści (potencjalnie użyteczne popioły, energia elektryczna i ciepła) są wartością dodaną procesu (tym samym spełniona jest również obecnie obowiązująca definicja unieszkodliwiania odpadów).

Wartość opałowa to jedna z ważniejszych właściwości paliwa. Oznacza ilość energii wydzielanej na sposób ciepła przy spalaniu jednostki masy lub jednostki objętości paliwa. Wartość opałową podaje się najczęściej w MJ/kg lub MJ/m³ (czasem również w kJ/kg lub kJ/m³) [Szargut 2013].

Autotermiczność procesu spalania oznacza możliwość stabilnego spalania odpadów bez konieczności podawania paliwa dodatkowego. Przyjmuje się jako kryteria autotermiczności spalania minimalną temperaturę spalania lub minimalną wartość opałową odpadów [Kordylewski (red.) 2005]. Rozpatrując minimalną temperaturę spalania jako kryterium autotermiczności procesu spalania, można posłużyć się temperaturą samozapłonu paliw stałych. W przypadku odpadów komunalnych bezpiecznie jest przyjąć, że dopiero temperatura spalania 850–900°C zapewnia autotermiczność spalania, kiedy straty ciepła wynoszą ok. 50%, oraz ok. 600°C – gdy spalanie przebiega w warunkach bliskich adiabatycznemu.

Kryterium minimalnej wartości opałowej wynika z doświadczeń w zakresie spalania odpadów. Przyjmuje się, że proces spalania odpadów jest autotermiczny, jeśli ich wartość opałowa będzie co najmniej 6 MJ/kg. Należy jednak zaznaczyć, iż na autotermiczność procesów spalania odpadów wpływ mają obok wartości opałowej również takie parametry, jak zawartość części palnych, części mineralnych oraz wilgoci w odpadach [Kordylewski (red.) 2005]. Obszar spalania autotermicznego dla danego paliwa można ocenić za pomocą trójkątnego wykresu Tannera, w którym na osiach naniesione są procentowe udziały części palnych, części niepalnych oraz wilgoci. Za obszar spalania autotermicznego przyjmuje się pole ograniczone parametrami: udział części palnych min. 25%, udział części niepalnych maks. 60%, udział wilgoci maks. 50%. Biorąc pod uwagę skład morfologiczny odpadów komunalnych w Polsce, można przyjąć, że lokują się one w polu spalania autotermicznego [Projekt KPGO 2016]. Wartość opałowa odpadów komunalnych w Polsce zawiera się w przedziale 7–9 MJ/kg [Wielgosiński, Namiecińska 2016], a więc warunek autotermiczności pod tym względem jest również spełniony.

Autotermiczność procesu spalania jest pożądana, ponieważ umożliwia termiczne przekształcanie odpadów bez podawania dodatkowego paliwa i ułatwia odzyskiwanie części energii zawartej w palnych składnikach odpadów. Nie należy jednak utożsamiać warunków autotermicznego spalania odpadów z warunkami bezpiecznego ich przekształcania. Efekt energetyczny spalania odpadów jest podporządkowany takim celom jak zmniejszenie objętości odpadów, ich detoksyfikacja oraz zachowanie standardów środowiskowych i bezpieczeństwa. Niezależnie zatem od warunków autotermiczności spalania należy zadbać o osiągnięcie takiej temperatury spalania,

żeby zapewnić wymaganą skuteczność termicznego przekształcania odpadów [Nemerow 2007; Jarosiński 1996].

Istnieje wiele różnych rozwiązań technologicznych systemów do termicznego przekształcania odpadów. Ze względu na konstrukcję pieców dzieli się je na [Rogoff, Screve 2011; Wielgosiński 2011]: komorowe, rusztowe, fluidalne, obrotowe, półkowe.

Paleniska rusztowe są szeroko stosowane w spalarniach odpadów komunalnych. Odpady spalają się na ruszcie, którego konstrukcja umożliwia mieszanie się odpadów z powietrzem oraz powolne przemieszczanie spalanego wsadu. Ogólnie w palenisku rusztowym można wyróżnić trzy strefy – w pierwszej strefie odbywa się suszenie wsadu, w drugiej odgazowanie i spalanie, a w ostatniej dopalanie. Nadmiar powietrza powinien być w zakresie 100–200%. Palenisko rusztowe powinno być izolowane termicznie poprzez wyłożenie odpowiednim materiałem ogniotrwałym. Typowe temperatury spalania odpadów komunalnych na ruszcie to 1000–1200°C. Zaletą paleniska rusztowego jest przede wszystkim możliwość spalania odpadów o różnych wymiarach i równej formie, bez konieczności wstępnego rozdrabniania. Ponadto paleniska te cechuje duża niezawodność oraz szeroki zakres zmian obciążenia cieplnego. Wadami są natomiast: skomplikowany napęd, konieczność starannej konserwacji oraz znaczny koszt inwestycyjny i eksploatacyjny [Kordylewski (red.) 2005; Wielgosiński 2011].

Podczas spalania odpadów wraz ze spalinami do powietrza emitowane są zanieczyszczenia typowe dla kotłów energetycznych (popioły lotne, SO_2 , NO_x , CO_2 , CO), ale ponadto wiele związków organicznych, w tym WWA oraz dioksyny i furany, ponadto chlorowodór i fluorowodór oraz metale ciężkie. Szczególnie liczna jest grupa związków organicznych, wśród których wyróżnia się związki lotne (LZO) [Warych 1994].

W celu kontroli emisji zanieczyszczeń podczas spalania odpadów w instalacjach do spalania lub współspalania odpadów należy prowadzić w sposób ciągły bądź okresowy pomiary stężenia zanieczyszczeń w spalinach emitowanych do powietrza. W sposób ciągły należy mierzyć: pył ogółem, NO_x , HCl , CO , LZO, HF , SO_2 oraz O_2 (do oceny prawidłowości przebiegu procesu i przeliczania pozostałych wartości). W sposób okresowy mierzone są Pb , Cr , Cu , Mn , Ni , As , Cd , Hg , Tl , Sb , V , Co oraz dioksyny i furany [Rozporządzenie z 30 października 2014].

Wymagania środowiskowe dotyczące oczyszczania spalin spowodowały, iż spalarnie odpadów musiały zostać wyposażone w odpowiednie węzły usuwające zanieczyszczenia ze spalin. Standardowy ciąg technologiczny obejmuje zatem odpylanie spalin, ich odsiarczanie (wiązanie tlenków siarki), redukcję tlenków azotu, płuczki wyłapujące zanieczyszczenia kwaśne ze spalin, filtry (najczęściej z węgla aktywowanego) absorbujące metale ciężkie, LZO oraz dioksyny i furany. Dlatego też we współczesnych spalarniach odpadów palenisko i ewentualny kocioł stanowią jedynie jeden z wielu węzłów technologicznych całego ciągu [Warych 1994; Wielgosiński 2011].

Powstające podczas spalania odpadów popiół i żużel stanowią istotny problem dla operatorów instalacji spalających odpady, zawierają bowiem zazwyczaj wiele substancji, które powodują, iż popioły te kwalifikowane są jako odpady niebezpieczne. Są to m.in. metale ciężkie, a także osadzające się na cząstkach popiołów dioksyny i furany. Część z tych zanieczyszczeń jest łatwo wymywalna, co może zagrażać skażeniem wód gruntowych. Dlatego magazynowanie popiołów ze spalania odpadów, w przypadku braku możliwości ich bezpiecznego wykorzystania, wymaga składowania na składowiskach odpadów niebezpiecznych. Z tych samych powodów współspalanie odpadów z węglem również stwarza problemy, ponieważ utrudnia gospodarcze wykorzystanie popiołów [Cenni i in. 2001; Wielgoński 2014].

5. Spalarnie odpadów komunalnych w Polsce

W Polsce funkcjonuje obecnie 5 spalarni odpadów (tabela 1). Najstarsza, w Warszawie-Targówku, uruchomiona została w 2001 roku jako Zakład Utylizacji Stałych Odpadów Komunalnych [Pajak 2009]. Na przełomie 2015/2016 uruchomiono 4 duże instalacje: w Bydgoszczy, Krakowie, Koninie i Białymstoku. Kolejne dwie (Szczecin i Poznań) są w końcowej fazie budowy i zostaną oddane do użytku pod koniec 2016 roku. Łączna zdolność przerobowa instalacji do spalania odpadów komunalnych wyniesie wówczas 1 034 000 Mg/rok. Instalacja w Warszawie będzie rozbudowywana – powstaną dwie zupełnie nowe linie, całkowita wydajność zakładu wzrośnie do 300 000 Mg/rok. We wszystkich spalarniach w Polsce (już otwartych i tych budowanych) zastosowana jest technologia spalania na ruszcie, najpowszechniej stosowana na świecie, sprawdzona i niezawodna.

W najbliższych latach tempo budowy dużych zakładów spalających odpady komunalne z pewnością zmaleje. Oprócz dużej inwestycji w Warszawie w planach są mniejsze instalacje, m.in. dla Rzeszowa, Olsztyna, Trójmiasta. W projektach zmniejsza się jednak planowaną wydajność przerobową instalacji, ze względu na potencjalne problemy z zapewnieniem dostaw odpowiedniej ilości odpadów do spalania. Tendencje te zawarte zostały w projekcie KPGO z marca 2016 r. Ze względu na konieczność spełnienia obowiązku recyklingu odpadów komunalnych na ciągle rosnących poziomach przewiduje się zmniejszenie roli termicznych instalacji do spalania odpadów nieprzetworzonych, większy nacisk położony jest na instalacje do spalania frakcji pozostałej po wyselekcjonowaniu innych pożądaných w recyklingu frakcji [Projekt KPGO 2016]. Trend zarysowany w projekcie KPGO wskazuje na to, iż w niedalekiej przyszłości w Polsce powstawać będą instalacje nie do spalania odpadów komunalnych, lecz do spalania pochodzącego z odpadów komunalnych paliwa alternatywnego RDF.

Znany autorom przykład Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów w Krakowie (zwanego też Ekospalarnią) potwierdza, że przynosi ona spodziewane korzyści: redukuje ok. 75% strumienia odpadów, przy zachowaniu europejskich standardów ekologicznych, zapewnia wysoki stopień samowystarczalności energii

Tabela 1. Spalarnie odpadów komunalnych w Polsce (czerwiec 2016)

| Lokalizacja | Nazwa | Rok uruchomienia | Wydajność [Mg/rok] | Produkcja energii* |
|-------------|---|--|--------------------|---|
| Warszawa | Zakład Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych (do 2011); Zakład Unieszkodliwiania Odpadów OUZ-2 (obecnie) | 2001 | 60 000 | energia elektryczna: 10 000 MWh/rok; energia cieplna: 250 000 GJ/rok |
| Bydgoszcz | Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych | XI 2015 | 180 000 | energia elektryczna: 54 000 MWh/rok energia cieplna: 648 000 MWh/rok |
| Białystok | Zakład Utylizacji Odpadów Komunalnych | II 2016 | 120 000 | energia elektryczna: 38 000 MWh/rok energia cieplna: 360 000 GJ/rok |
| Konin | Zakład Termicznego Unieszkodliwiania Odpadów Komunalnych | XII 2015 | 94 000 | energia elektryczna: 47 000 MWh/rok energia cieplna: 120 000 GJ/rok |
| Kraków | Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów | XII 2015 | 220 000 | energia elektryczna: 65 000 MWh/rok energia cieplna: 1 000 000 GJ/rok |
| Poznań | Instalacja Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych | obecnie – faza testów, planowe uruchomienie: X/XI 2016 | 210 000 | energia elektryczna: 128 000 MWh/rok energia cieplna: 267 000 GJ/rok |
| Szczecin | Zakład Termicznego Unieszkodliwiania Odpadów | planowane oddanie do użytku: XII 2016 | 150 000 | energia elektryczna: 56 000 MWh/rok energia cieplna: 850 000 GJ/rok |
| Razem | | | 1 034 000 | |

* Dla spalarni uruchamianych na przełomie 2015/16 oraz nieoddanych do użytku – wartości projektowe.

Źródło: [Wielgosiński, Namiecińska 2016]; <http://infrastruktura.um.warszawa.pl/adresy/firmy/zak-ad-unieszkodliwiania-odpad-w-ouz-2>; <http://www.um.warszawa.pl/aktualnosci/umowa-na-projekt-rozbudowy-spalarni-na-targ-wku-podpisana>; <http://www.generacjaczysteenergii.pl/projekt/informacja-o-projekcie.html>; http://www.lech.net.pl/informacje_zb.htm; <http://www.portalsamorzadowy.pl/gospodarka-komunalna/spalarnia-w-koninie-juz-dziala,76030.html>; <http://mzgok.konin.pl/informacje/koncepcja-techniczna-ztuok/>; <http://www.spalarnia.krakow.pl/3,OEKospalarni.html>; <http://portalkomunalny.pl/spalarnia-poznan-330436/>; <http://www.sita-zielonaenergia.pl/kluczowe-informacje.html>; http://www.zuo.szczecin.pl/aktualnosci/38/Nowy_term_in_zakonczenia_budowy_ecogeneratora/; <http://ecogenerator.eu/ecogenerator/jak-to-dziala.html>.

elektrycznej i ciepła oraz dostarcza energię do systemu miejskiego. Szacuje się, że energia elektryczna wyprodukowana z odpadów w Ekospalarni mogłaby wystarczyć na potrzeby napędu tramwajów Krakowa, a wytworzona energia cieplna może pokryć ok. 10% rocznego zużycia ciepła w Krakowie. Koszt projektu netto wyniósł 673 mln zł (w tym koszt budowy Zakładu wyniósł 648 mln zł), z czego 372 mln zł pochodzi z UE, a 298 mln zł to pożyczka z NFOŚiGW. Przychody Krakowskiego Holdingu Komunalnego SA (spółki komunalnej odpowiedzialnej za realizację inwestycji) zapewniają wkład własny oraz zwrot pożyczki [Langer 2016]. Ekospalarnia zapewnia zatem efektywność ekologiczną, ekonomiczną (dzięki pomocy publicznej) oraz społeczną. Proces jej projektowania, doboru wykonawcy projektu oraz realizacji nie był pozbawiony trudności, oporów społecznych oraz barier proceduralnych, które pokonali inwestorzy i beneficjenci: KHK SA w Krakowie, Gmina Miejska Kraków oraz kilku innych inwestorów w Polsce.

6. Zakończenie

Projekt krajowego planu gospodarki odpadami komunalnymi (z marca 2016 roku) zakłada, że termicznemu przekształcaniu nie powinno być poddawane więcej niż 30% wytworzonych odpadów komunalnych [Projekt KPGO 2016]. Obecne zdolności przetwórcze spalarni zapewniają ok. 9% spalania odpadów komunalnych, szacowanych dla 2030 roku. Jest to znacznie niższy odsetek niż w Wielkiej Brytanii, Włoszech czy Portugalii, gdzie spala się ok. 20% zebranych odpadów komunalnych, i znacznie niższy niż w Danii, Szwecji, gdzie spala się ponad 50% takich odpadów. Problem nie polega jednak na wysokim odsetku spalania odpadów komunalnych, lecz na racjonalnym nimi gospodarowaniu. Spalarnia stanowi ostatnie, ważne ogniwo zintegrowanego procesu zagospodarowania odpadów komunalnych. Podaż odpadów do spalania zależy od wielu czynników, w tym od wartości opałowej oraz od dostępnych technologii i innych instalacji zagospodarowania odpadów komunalnych oraz regulowanych w tym zakresie standardów. Dwa z nich wydają się szczególnie istotne dla dalszego rozwoju technologii oraz sposobów postępowania z odpadami komunalnymi w Polsce. Są to: poziomy recyklingu (gminy w 2020 roku powinny poddać recyklingowi co najmniej 50% frakcji odpadów obejmującej sumarycznie papier, metal tworzywa sztuczne i szkło oraz 70% innych niż niebezpieczne odpadów budowlanych i rozbiórkowych [Rozporządzenie z 29 maja 2012]) oraz zakaz składowania odpadów, których ciepło spalania przekracza 6 MJ/kg s.m., co w praktyce oznacza zakaz składowania nieprzetworzonych odpadów komunalnych [Rozporządzenie z 16 lipca 2015].

Osobnym problemem jest behawioralna strona postępowania z odpadami komunalnymi przez mieszkańców oraz jakość, rzetelność informacji i sprawozdawczości statystycznej. Okazuje się, że w Polsce notuje się najniższy wskaźnik odpadów komunalnych na 1 mieszkańca, znacznie niższy niż dla krajów rozwiniętych gospodarczo. Polska należy także do grupy krajów o spadku tonażu odpadów komunal-

nych (w latach 1995–2013), obok takich państw, jak: Bułgaria, Estonia, Hiszpania, Słowacja, Węgry, w których spadek ten jest jeszcze bardziej wyraźny. Warto byłoby badać przyczyny tej tendencji. Podaż odpadów komunalnych i jej prognoza ma istotne znaczenie dla projektowania kolejnych spalarni i wykorzystania zdolności wytwórczych przez istniejące spalarnie. Mniejszy strumień odpadów komunalnych, zauważany także po 2013 roku – to jest po powierzeniu gminie własności odpadów i wprowadzeniu obowiązkowej opłaty do budżetu gminy za zagospodarowanie odpadów komunalnych – może stanowić poważną barierę w funkcjonowaniu spalarni odpadów komunalnych. Okazuje się zatem, że spalarnie odpadów komunalnych są uzasadnione ekonomicznie (zakłady zarabiają, z udziałem pomocy publicznej), mają dostęp do najlepszych technologii, spore doświadczenie w projektowaniu, w budowie obiektów, w funkcjonowaniu procesów spalania, ale brakuje dobrego rozpoznania czynników kształtujących faktyczną ilość odpadów komunalnych oraz skłonności do ich selektywnego zbierania.

Literatura

- Cenni R., Janisch B., Spliethoff H., Hein K.R., 2001, *Legislative and environmental issues on the use of ash from coal and municipal sewage co-firing as construction material*, Waste Management, no. 21, s. 17–31.
- Chodkowski J. (red.), 1982, *Słownik chemiczny*, Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z 24 listopada 2010 roku w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola), Dz. Urz. UE L334/17.
- Folmer H., Gabel L., Opschoor H. (red.), 1996, *Ekonomia środowiska i zasobów naturalnych*, Wydawnictwo Krupski i S-ka, Warszawa.
- Jarosiński J., 1996, *Techniki czystego spalania*, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Kordylewski W. (red.), 2005, *Spalanie i paliwa*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Langer R., 2016, *Ekospalarnia Kraków*. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Funduszu Spójności w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko, Kraków (prezentacja).
- Nemerow L.N., 2007, *Industrial Waste Treatment*, Elsevier Science and Technology, Boston.
- Pająk T., 2009, *ZUSOK – Ochrona klimatu, źródło energii*. VI Forum Operatorów Systemów i Odbiorców Energii i Paliw „Bezpieczeństwo energetyczne a nowe kierunki wytwarzania i wykorzystania energii w Warszawie”, Warszawa.
- Projekt Krajowego Planu Gospodarki Odpadami z 9 marca 2016 r., <http://www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualnosci/2072-Projekt-KPGO-z-9-marca-2016.pdf> (9.06.2016).
- Rogall H., 2010, *Ekonomia zrównoważonego rozwoju. Teoria i praktyka*, Zysk i S-ka, Poznań.
- Rogoff M.J., Screve F., 2011, *Waste-to-Energy. Technologies and Project Implementation*, Elsevier Science and Technology, Boston.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach, Dz.U. 2015, poz. 1277.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 maja 2012 r. w sprawie poziomów recyklingu, przygotowania do ponownego użycia i odzysku innymi metodami niektórych frakcji odpadów komunalnych, Dz.U. 2012, poz. 645.

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2014 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody, Dz.U. 2014, poz. 1542.
- Szargut J., 2013, *Termodynamika techniczna*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Szyjko C.T., 2013, *Odzysk energii z odpadów komunalnych. Wyzwania dla Polski*, Energia Gigawat, nr 1.
- Ustawa z dnia 8 marca 1990 roku o samorządzie gminnym (Dz.U. 2016, poz. 446).
- Ustawa z dnia 13 września 1996 roku o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz.U. 2016, poz. 250).
- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 roku o odpadach (Dz.U. 2013, poz. 21 ze zm.).
- Warych J., 1994, *Oczyszczanie przemysłowych gazów odlotowych*, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Wielgosiński G., 2011, *Przegląd technologii termicznego przekształcania odpadów*, Nowa Energia, nr 1, s. 55–67.
- Wielgosiński G., 2014, *Problemy eksploatacyjne zakładów termicznego przekształcania odpadów komunalnych*, III Międzynarodowa Konferencja „Zakłady termicznego przekształcania odpadów jako regionalne instalacje”, materiały konferencyjne, s. 75–89.
- Wielgosiński G., Namiecińska O., 2016, *Spalarnie odpadów komunalnych – perspektywa roku 2020*, Nowa Energia, nr 2, s. 11–20.