

Marek Ściążko, Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Centrum Energetyki AGH  
Wojciech Nowak, Centrum Energetyki AGH

# Technologie zgazowania odpadów komunalnych

**O**dpady komunalne są to odpady wytwarzane w gospodarstwach domowych oraz odpady wytwarzane w handlu detalicznym, przedsiębiorstwach, budynkach biurowych, instytucjach edukacyjnych, opieki medycznej oraz administracji publicznej, o charakterze i składzie podobnym do odpadów wytwarzanych w gospodarstwach domowych.

Ilość oraz skład morfologiczny odpadów komunalnych w bardzo dużym stopniu zależą od miejsca ich powstawania, a także od pory roku. Ilość odpadów komunalnych zebranych w przeliczeniu na jednego mieszkańca jest silnie skorelowana z kondycją ekonomiczną poszczególnych regionów kraju.

Według informacji pochodzących z GUS, w Polsce w latach 2003-2013 na jednego mieszkańca przypada średnio ok. 270 kg odpadów. Z zebranych w 2014 r. odpadów komunalnych, 4495,6 tys. Mg przeznaczono do odzysku (ok. 44% ilości zebranych odpadów komunalnych). Zgodnie z GUS do procesu odzysku zalicza się recykling (2 179,9 tys. ton), kompostowanie lub fermentację (1 153,6 tys. ton) oraz przekształcanie termiczne z odzyskiem energii (1 162,1 tys. ton). Do unieszkodliwienia skierowano łącznie 5 834,9 tys. Mg, z czego 5 436,9 tys. Mg przeznaczono do składowania, a 398 tys. Mg do unieszkodliwienia poprzez przekształcanie termiczne bez odzysku energii<sup>1</sup>.

W przeciętnym składzie frakcyjnym odpadów komunalnych około połowę masy odpadów stanowi papier, tektura,

tworzywa sztuczne oraz odpady organiczne i inne spożywcze. Są to frakcje posiadające potencjał energetyczny, który może zostać wykorzystany do produkcji gazu posiadającego właściwości palne, względnie gazu o składzie odpowiednim do zastosowania w syntezie chemicznej. Podstawowym procesem, który umożliwia otrzymanie gazu o takich właściwościach jest zgazowanie.

## ■ Zgazowanie w systemie gospodarki odpadami

Analizując potencjalne scenariusze zastosowania zgazowania z punktu widzenia rodzaju pozyskiwanego surowca, można wyróżnić:

- instalacje bezpośrednio przyjmujące odpady zmieszane od mieszkańców za pośrednictwem firm odbierających i transportujących odpady komunalne,
- instalacje będące odbiorcą końcowym frakcji energetycznych z instalacji segregacji odpadów względnie zakładów komponowania paliw alternatywnych.

W wyniku przeróbki zmieszanych

odpadów komunalnych (kod odpadu 20 03 01) w instalacjach przetwarzania odpadów powstają m.in. następujące frakcje energetyczne:

- frakcja nadsitowa (kod odpadu 19 12 12), która obejmuje frakcje większe od określonego rozmiaru oczka sita, najczęściej 80-100 mm,
- paliwo alternatywne (kod odpadu 19 12 10), w tym stałe paliwa wtórne SRF (*ang. solid recovered fuels*).

Frakcja nadsitowa (kod 19 12 12) pochodzi z instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, działających najczęściej jako tzw. RIPOK (Regionalne Instalacje Przetwarzania Odpadów Komunalnych) i stanowi ok. 30-45% strumienia wejściowego odpadów. Parametry energetyczne tej frakcji są zmienne w czasie (szczególnie sezonowo: lato-zima) oraz zależne od struktury linii technologicznej. Generalnie można przyjąć, że frakcja nadsitowa posiada wartość opałową w zakresie 9-14 MJ/kg. Materiał ten występuje luzem, a jego granulacja wynosi powyżej 80 mm.

Drugim rodzajem odpadów palnych są paliwa alternatywne (kod odpadu 19

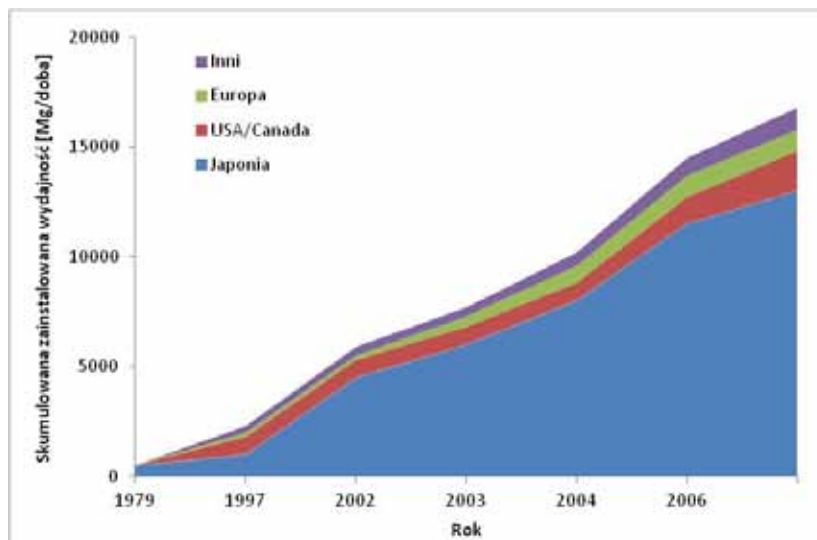
12 10). Są to stałe, rozdrobnione odpady palne, o jednorodnym stopniu wymieszania, powstałe w wyniku zmieszania odpadów innych niż niebezpieczne, z udziałem lub bez udziału paliwa stałego, ciekłego lub biomasy. Stałe paliwa wtórne SRF powstają m.in. z frakcji nadsitowej oraz odpadów przemysłowych. SRF to paliwo o unormowanych właściwościach jakościowych (wartość opałowa, zawartość chloru, zawartość rtęci), wykorzystywane jako źródło energii w procesach spalania lub współspalania odpadów. Obecnie głównym odbiorcą SRF jest przemysł cementowy<sup>2</sup>. W literaturze oraz nomenklaturze rynkowej paliwo alternatywne występuje również pod nazwą RDF (*ang. refuse-derived fuel*).

## ■ Zgazowanie w systemie prawnym

Instalacje zgazowania odpadów w świetle prawa unijnego i prawa polskiego są w traktowane jako zakłady termicznego przekształcania odpadów (spalarnie albo współspalarnie), jeżeli gaz powstający podczas tych procesów jest następnie spalany, w tym także poza taką instalacją.

W 2010 r. została przyjęta dyrektywa 2010/75/UE, tzw. Dyrektywa IED<sup>3</sup>. Wprowadziła ona nową regulację umożliwiającą zaprzestanie stosowania w stosunku do instalacji zgazowania przepisów dotyczących spalarni i współspalarni odpadów, po spełnieniu odpowiednich warunków technicznych. Zgodnie z art. 42 ust. 1 dyrektywy IED, Rozdział IV. Przepisy szczególne dotyczące spalarni odpadów i współspalarni odpadów: „[...] rozdział nie ma zastosowania do instalacji do zgazowania i pirolizy, jeżeli gazy powstałe w wyniku tego przetwarzania termicznego odpadów są oczyszczone w takim stopniu, że przed spalaniem nie są już odpadami i nie mogą spowodować emisji większych niż w wyniku spalania gazu ziemnego”.

Odrębnym przypadkiem jest wariant wykorzystania oczyszczonego gazu procesowego ze zgazowania odpadów w syntezie chemicznej. Trudno



Rys. 1. Światowe zużycie odpadów w procesach termicznego przekształcania

tutaj mówić o emisji zanieczyszczeń do powietrza wynikającej ze spalania tego gazu. W takim wariantcie gaz procesowy przetwarzany jest na użyteczny produkt (np. metanol, etanol, poliolefiny, etc.), wobec czego w globalnym ujęciu technologia powinna być kwalifikowana jako odzysk odpadów w procesie R3 (odzysk w postaci chemikaliów), a nie jako odzysk w procesie R1 (odzysk w postaci energii elektrycznej). Wariant typu R3 jest rozwiązaniem innowacyjnym w skali światowej z uwagi na jedynie kilka instalacji znajdujących się w fazie testowej. Z tego powodu szczególne wymagania dopuszczeniowe będą prawdopodobnie wymagały praktycznej weryfikacji przez organy ochrony środowiska na etapie dopuszczenia instalacji do eksploatacji.

## ■ Stan rozwoju technologii

Termiczne przekształcanie odpadów (spalanie, zgazowanie, piroliza) posiada stosunkowo niedługą historię, ale od lat 90. ub. w. wdarło się do praktyki technologicznej i w 2010 r. przetwarzano ok. 5 mln ton odpadów (rys. 1). Wynika z niego, że liderem w tej dziedzinie jest Japonia, w której od początku postawiono na zgazowanie jako najbardziej

odpowiedni proces ze względów technologicznych, jak i środowiskowych.

Pomimo długiej historii rozwoju technologii zgazowania węgla, technologia ta jest od stosunkowo niedługiego okresu stosowana do przetwórstwa odpadów komunalnych i przemysłowych. Głównym problemem okazał się niejednorodny skład chemiczny odpadów przeznaczonych do zgazowania oraz trudność przygotowania odpowiedniego rozkładu ich uziarnienia.

Z uwagi na to, że zgazowanie dostarcza gaz, którego skład możemy regulować poprzez wybór odpowiedniej technologii można wyróżnić dwa główne kierunki zastosowania tej technologii:

- zastosowania w kierunku energetycznym,
- zastosowanie w kierunku chemicznym.

Zgazowanie jest procesem mieszczącym się klasyfikacyjnie pomiędzy pirolizą a spalaniem. Wszystkimi one prowadzą do termicznego przekształcania paliwa, a różnice wynikają zasadniczo z odmiennych warunków temperaturowych oraz różnej ilości tlenu podawanego do procesu (rys. 2). W związku z tym istnieją różne strategie implementacji tych procesów do praktyki przemysłowej, z tym że piroliza stosowana jest naj-

chętniej do termicznego przekształcania zdefiniowanych odpadów takich jak: zużyte opony czy też tworzywa sztuczne. W tych przypadkach procesy te ukierunkowane są głównie na wykorzystanie olejów będących jednym z podstawowych produktów. Spalanie natomiast jest szczególnie rozwinięte w Europie i jest procesem nieakceptowanym obecnie dla dalszego rozwoju i stosowania.

### ■ Proces zgazowania

Zgazowanie jest procesem częściowego rozkładu termicznego substancji palnej, zachodzącym w obecności tlenu, ale występującego w ilości znacznie mniejszej niż stechiometryczne zapotrzebowanie do spalania. Tlen wprowadzony jest do układu z powietrzem lub w postaci czystej. Dodatkowo stosuje się w niektórych rozwiązaniach parę wodną jako czynnik reaktywny powodujący zwiększenie wydajności wodoru.

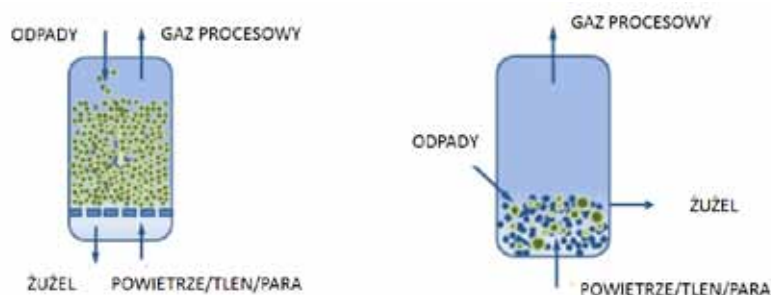
W związku z tym, zgazowanie można scharakteryzować w sposób następujący:

- do zgazowania stosuje się powietrze, tlen lub parę wodną,
- proces prowadzi się zazwyczaj w temperaturze ok. 850°C, natomiast strefowo podwyższa się ją do ok. 1400°C, w celu rozkładu węglowodorów kondensujących lub przetopienia substancji mineralnej (popiołu),
- produkty gazowe są palne (główne składniki stanowią: metan, wodór, ditlenek i monotlenek węgla), a stała pozostałość składa się z materiału niepalnego - popiołu,
- w ogólności w procesie następuje konwersja całej energii chemicznej zawartej w paliwie do energii chemicznej zawartej w gazie,
- typowa wartość opałowa gazu otrzymanego ze zgazowania z wykorzystaniem tlenu wynosi 10 do 15 MJ/m<sup>3</sup>, a przy wykorzystaniu powietrza 4 do 6 MJ/m<sup>3</sup>.

Zgazowanie oferuje produkt gazowy, który może być wykorzystywany zarówno do wysokoefektywnego wytwarza-



Rys. 2. Schemat różnych podstaw procesowych termicznych metod przekształcania odpadów



Rys. 3. Schematy podstawowych układów gazogeneratorów (reaktor ze złożem zwartym i reaktor ze złożem fluidalnym)

nia energii elektrycznej lub syntezy chemicznej. Inną istotną zaletą zgazowania jest prowadzenie wszystkich zabiegów oczyszczania gazu na mniejszej jego ilości niż w przypadku procesu ukierunkowanego na spalanie. W klasycznej sytuacji proces spalania odpadów potrzebuje ok. 2,5 m<sup>3</sup>/kg powietrza, wytwarzając ok. 14 m<sup>3</sup>/kg spalin kierowanych do oczyszczania. Natomiast w zgazowaniu używamy ok. 1,2 m<sup>3</sup>/kg powietrza, wytwarzając ok. 2,5 m<sup>3</sup>/kg gazu podawanego do oczyszczania. Z porównania przedstawionych liczb wynika, że instalacja oczyszczania gazu jest w przypadku zgazowania ok. 5-krotnie mniejsza, a przez to również tańsza. Ponadto proces prowadzony jest w warunkach redukcyjnych, co nie sprzyja formowaniu się chlorowcopo pochodnych organicznych (dioksyny), stanowiących istotne zagrożenie ekologiczne. W tym także istotny jest katalityczny wpływ substancji mine-

ralnej, która jest aktywna w atmosferze utleniającej.

### ■ Reaktory zgazowania

Proces zgazowania prowadzony może być w różnych typach gazogeneratorów, których ogólną klasyfikację przedstawiono na rys. 3.

Typowym rozwiązaniem stosowanym w reaktorze ze złożem zwartym jest dozowanie surowca od góry, a wprowadzenie podmuchu powietrznego lub wzbogaconego w tlen od spodu. Można stosować także dodatek pary wodnej. Przepływ medium zgazowującego odbywa się w związku z tym w przeciwnym kierunku do opadającego wraz z postępowaniem zgazowania złożem materiału. Gaz procesowy jako produkt wyprowadza się od góry reaktora i z tego powodu zawierać może znaczne ilości węglowodorów kondensujących (smoły).

Istnieją również różne mechanizmy do odprowadzania popiołu. Jednym wspólnym elementem konfiguracji układu jest ruszt utrzymujący fizyczne złożę zgazowywanego materiału oraz umożliwiający wyprowadzenie popiołu. W niektórych układach popiół wyprowadza się w postaci sypkiej, jako stałą substancję, a w niektórych w postaci ciekłej. Z tego powodu w tym ostatnim przypadku stosuje się do zgazowania powietrze wzbogacone w tlen, co pozwala uzyskać w dolnej strefie złoża temperaturę konieczną do przetopienia popiołu. Przetopienie wymaga wysokich temperatur i poza tlenem konieczne jest podwyższenie kaloryczności wsadu. Osiąga się to poprzez wprowadzenie w niektórych rozwiązaniach dodatkowego paliwa - koksu. Znane są również rozwiązania, w których źródłem dodatkowej energii jest palnik plazmowy, niestety zwiększający zapotrzebowanie na energię elektryczną. W reaktorach tego typu surowiec nie wymaga zazwyczaj specjalnego przygotowania pod względem wielkości odpadów oraz ich wilgotności. Regulacje temperatury topnienia osiąga się przez odpowiedni dodatek topników (np. kamień wapienny).

W rozwiązaniach ze złożem fluidalnym - z uwagi na dużą niejednorodność wsadu - stosuje się piasek jako stabilizator aerodynamiczny złoża, do którego wprowadza się odpady. Odpady te muszą być także odpowiednio przygotowane wcześniej, pod względem wielkości ziarna i zawartości wilgoci. Na podstawie praktycznych danych wskazuje się, że wielkość pojedynczego fragmentu odpadu poddawanego zgazowaniu w dwóch wymiarach nie powinna przekroczyć 50 mm, przy zachowaniu trzeciego wymiaru na poziomie maksymalnym 6 mm.

Układ fluidalny zapewnia bardzo dobre wymieszanie złoża, a zatem i dobre warunki transportu masy i ciepła. Gazy procesowe mają temperaturę bliską temperaturze złoża, która powinna być niższa niż temperatura mięknięcia popiołu. Typowo nie jest ona wyższa od 850°C. W wyniku czego gazy procesowe nie mogą mieć także temperatury wyższej. W niektórych rozwiązaniach stosuje się

dlatego zewnętrzny konwerter plazmowy.

Oprócz potencjalnych problemów z paliwami, które mają niską temperaturę topnienia popiołu, mogą pojawić się problemy z zapewnieniem odpowiedniego uziarnienia wsadu. W przypadku wprowadzenia materiału o dużo większym uziarnieniu - może nastąpić defluidyzacja złoża. Podobne zjawisko może zajść w przypadku nadmiernej zawartości substancji alkalicznych.

### ■ Klasyfikacja układów technologicznych

Z punktu widzenia sposobu integracji układu technologicznego i wynikających z tego następstw kwalifikacyjnych w ogólności mamy do czynienia z dwoma następującymi rozwiązaniami technologicznymi:

- zintegrowany układ zgazowania odpadów i spalania gazu, z oczyszczaniem spalin przed kominem - produkt: ciepło w parze wodnej o parametrach odpowiednich dla generacji energii elektrycznej w turbinie parowej,
- zgazowanie wyspowe i oczyszczanie gazu procesowego do dalszego zużycia w następujących rozwiązaniach:

- ❖ lokalny układ jego spalania na cele energetyczne,
- ❖ przesyłanie i spalanie w jednostce rozdzielonej od zgazowania,
- ❖ konwersja chemiczna do produktu końcowego (np. metanol).

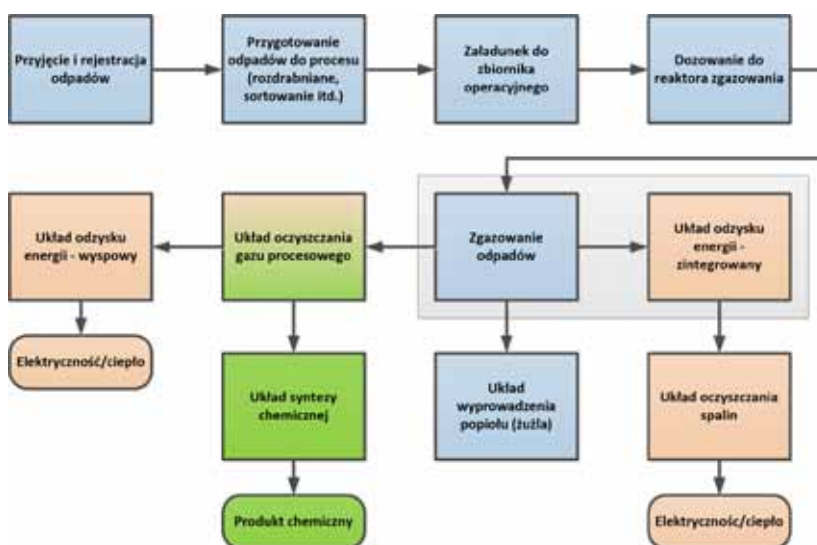
Pierwsze z tych rozwiązań odpowiada kryteriom stawianym przed wszystkimi instalacjami termicznego przekształcania odpadów, a drugie pozwala pod pewnymi warunkami niejako „odkodaować” gaz od odpadu.

Typowy układ termicznego przekształcania odpadów obejmuje funkcje i procesy jednostkowe przedstawione na rys. 4, z uwzględnieniem dwóch rozpatrywanych kierunków zastosowania, tzn. energetycznego i chemicznego.

### ■ Dostawcy technologii zgazowania

Analiza rynku oferentów technologii zgazowania, które stosowane są w skali przemysłowej (skala co najmniej 100 tys. ton odpadów rocznie) wskazuje, że obecnie wiodącymi są następujące firmy:

- Alter NRG Westinghouse Plasma Corporation<sup>4</sup>,
- CHO Power<sup>5</sup>,



Rys. 4. Schemat organizacji technologii zgazowania odpadów - najważniejsze operacje i procesy jednostkowe

- Enerkem<sup>6</sup>,
- Foster Wheeler<sup>7</sup>,
- JFE High Temperature Gasifying and Melting System<sup>8</sup>,
- Leveraged Green Energy Gasplasma (LGE)<sup>9</sup>,
- Nippon Steel & Sumikin Engineering (NSENGI)<sup>10</sup>,
- Synthesis Energy Systems (SES)<sup>11</sup>.

Większość technologii oferuje wytwarzanie gazu palnego do wykorzystania energetycznego. W tym niektóre (NSENGI, JFE) do wytwarzania lokalnego poprzez zintegrowane zgazowanie odpadów z komorą spalania gazu i wytwarzaniem pary wodnej dla turbiny. Podobnie oferowane są rozwiązania CHO Power, Foster Wheeler i LGE. W przypadku Alter NRG i SES dostarczany jest gaz palny oczyszczony, co daje możliwość przesyłu i spalania w dedykowanych urządzeniach. W takim przypadku może mieć ewentualnie zastosowanie przepis o spalaniu gazu o właściwościach emisyjnych gazu ziemnego.

Spośród wymienionych technologii trzy charakteryzują się największym spektrum odpadów możliwych do zgazowania (NSENGI, JFE i Alter NRG), pozwalając również na utylizację odpadów niebezpiecznych i toksycznych. Pod względem rozmiaru frakcji kierowanej do reaktora, najbardziej elastyczne są reaktory oferowane przez NSENGI i JFE, dla których praktycznie jedynym ograniczeniem jest zawartość frakcji poniżej 5 mm. Najwyższymi temperaturami procesu osiąganymi poprzez spalanie koksu w dolnej strefie reaktora odznaczają się technologie NSENGI i JFE. Technologia Alter NRG jako jedyna umożliwia stosowanie do zgazowania powietrza, co ogranicza konieczność budowy instalacji jego rozdziału, niemniej jednak technologia w tym wariantcie osiąga niższą sprawność. Technologie NSENGI i JFE stosują powietrze wzbogacone w tlen, co zmniejsza jego zużycie w porównaniu do instalacji wykorzystujących tlen wysokiej czystości. Technologie NSENGI, JFE i Alter NRG stosują jeden reaktor w ciągu zgazowania, a pozostałe dwa reaktory następcze. Zastosowanie drugie-

go reaktora ma na celu poprawę jakości gazu poprzez usunięcie z niego smoty oraz związków toksycznych, jak również dioksyn i furanów. Podobny efekt osiągnięto również w reaktorach JFE oraz NSENGI, gdzie w górnej strefie reaktora dzięki wysokiej temperaturze (ok. 900°C) oraz w atmosferze redukującej również następuje rozkład węglowodorów. Ponadto atmosfera redukująca pozwala na redukcję tlenków metali ciężkich, które następnie częściowo odparowuje i są wychwytywane razem z popiołem lotnym, co znacznie obniża emisję szkodliwych związków do atmosfery. Zastosowanie układu złożonego z jednego reaktora zgazowania i drugiego następczego konwersji parogazów zmniejsza ryzyko awarii oraz obniża koszt i złożoność całej instalacji. W przypadku zgazowania 120 tys. ton odpadów rocznie o średniej wartości opałowej - możliwe jest zainstalowanie turbiny o mocy 16-18 MW, co daje sprawność netto ok. 27%.

Kierunek chemiczny jest potencjalnie bardzo atrakcyjny i najbardziej zaawansowany jest w aplikacji firmy ENERKEM12, prowadzący do etanolu. Możliwe jest także ukierunkowanie do metanolu lub jego pochodnych. Instalacja o zdolności przerobowej 120 tys. ton odpadów jest w stanie dostarczyć ok. 45-50 tys. ton metanolu. Podobne rozwiązanie oferowane jest przez firmę SES.

## ■ Wnioski

Biorąc pod uwagę stan rozwoju technologii zgazowania oraz pracujące instalacje można stwierdzić, że znacznie bardziej dojrzałe jest zgazowanie ukierunkowane na produkcję energii. Obecnie w świecie pracuje 60 instalacji w skali demo lub komercyjnej produkujących parę techniczną lub energię elektryczną. Dla porównania, jedynie trzy z istniejących instalacji wykorzystują gaz syntezowy do produkcji metanolu, zazwyczaj w skali demonstracyjnej.

Pod względem operacyjnym i dużą elastycznością ze względu na zmiany składu odpadów, technologie wykorzystujące zalety pieca ze złożem zwartym

- przesuwnym, NSENGI oraz JFE, nastawione na produkcję energii, posiadają najwięcej zalet.

Ze względu na innowacyjność najbardziej interesujące są technologie firm: Alter NRG, SES oraz Enerkem, których ostatecznym produktem może być metanol lub inne chemikalia. Rozwiązanie takie stawia je znacznie wyżej w hierarchii metod postępowania z odpadami niż tradycyjne ich spalanie. □

Przypisy:

- 1) GUS, *Infrastruktura Komunalna w 2014 r.*
- 2) *PN-EN zintegrowane 15359 Stałe paliwa wtórne - Wymagania techniczne*
- 3) *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola)*
- 4) <http://www.alternrg.com/>
- 5) <http://www.cho-power.com/en/>
- 6) <http://enerkem.com/about-us/technology/>
- 7) [http://www.gasification-syngas.org/uploads/eventLibrary/14.3\\_Foster\\_Wheeler\\_Andy\\_Allen.pdf](http://www.gasification-syngas.org/uploads/eventLibrary/14.3_Foster_Wheeler_Andy_Allen.pdf)
- 8) <http://www.jfe-steel.co.jp/en/research/report/016/pdf/016-05.pdf>
- 9) <http://lgefund.net/>
- 10) [https://www.eng.nssmc.com/english/business/environment/e\\_01](https://www.eng.nssmc.com/english/business/environment/e_01)
- 11) <http://ir.synthesisenergy.com/releases.cfm?view=all>
- 12) <http://enerkem.com/facilities/enerkem-alberta-biofuels/>