

dr hab. inż. Dariusz Kardaś, dr inż. Jacek Kluska, mgr inż. Paweł Kazimierski, mgr inż. Łukasz Heda,  
Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk

# Kontenerowa instalacja zgazowania odpadów komunalnych w Nowym Dworze

Choć odpady komunalne nadal traktowane są jako problem, to coraz częściej postrzegane są jako źródło różnego rodzaju korzyści. Cały ciąg procesów: odzysk, recykling i przetwarzanie termiczne służą zamianie odpadów w użyteczne materiały lub energię. W tym zestawieniu termiczna przeróbka ma niższy priorytet niż recykling ale jej udział może sięgać 1/3 całego strumienia śmieci, co świadczy o jej znaczeniu i potencjale.



Fot. pixabay.com

Rynek odpadów komunalnych w Polsce przeżywa dynamiczny rozwój i widoczne są w nim różnorodne procesy, ale dwie tendencje wydają się być trwałe. Pierwsza to zwiększający się strumień odpadów, co wynika z rosnącej konsumpcji i uszczelniania systemu odbioru. Drugą natomiast jest zmuszanie zakładów zagospodarowania odpadów do coraz większe-

go recyklingu kosztem odzysku energii w procesach cieplnych, co wynika z przepisów prawa. Skutkiem zwiększonego odzysku odpadów i ich ponownego użycia będzie malejący strumień do instalacji termicznego przetwarzania odpadów. W związku z tym, że w dłuższej perspektywie czasowej zasoby odpadów przeznaczonych do odzysku energii będą maleć, istotną kwestią

staje się wielkość termicznych instalacji dla odpadów. Zasadniczo istnieją dwa sposoby termicznego przetwarzania odpadów, a są nimi spalanie i zgazowanie. W spalaniu i zgazowaniu odpadów celem nie jest odzysk substancji, ale energia zawarta w odpadach, nierzadko bardziej cenna, niż surowiec. Z obserwacji bieżącej sytuacji i trendów wynika, że budowa wielkoskalowych

instalacji spalania obarczona jest dużym ryzykiem. Wraz z upływem czasu odpadów o wartości kalorycznej powyżej 6 MJ/kg, czyli paliwa odpadowego (z ang. RDF) będzie mniej. Alternatywą dla dużych spalarni śmieci mogą być małoskalowe instalacje o zdecydowanie niższych kosztach inwestycyjnych. Ich ilość może być łatwo dostosowana do potrzeb użytkownika.

W kontekście tendencji rynkowych i przepisów prawa szczególnie trudną sytuację mają małe zakłady zagospodarowania odpadów, których w Polsce jest kilkadziesiąt. Stają one przed wyzwaniem w jaki sposób przetwarzać paliwo odpadowe, którego wartość energetyczna wynosi 6 MJ/kg. Najprostszym rozwiązaniem jest przekazywanie paliwa odpadowego dużym, zlokalizowanym wokół miast wojewódzkich spalarniom śmieci pozbywając się w ten sposób problemu, tracąc jednocześnie potencjalne zyski. Alternatywą dla tego rozwiązania są własne instalacje termicznego przetwarzania paliwa odpadowego Zakład Zagospodarowania Odpadów w Nowym Dworze pod Chojnicami zawiązał konsorcjum z Instytutem Maszyn Przepływowych PAN i firmą Eco-Construction. Wychodząc z założenia, że bardziej przyszłościowe jest posiadanie małych instalacji, konsorcjum tych firm zbudowało pilotażową, kontenerową instalację zgazowania odpadów komunalnych. Instalacja powstała w ramach projektu „Autotermiczny reaktor grawitacyjny zgazowania odpadów komunalnych”, dofinansowanego przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku, w ramach Pomorskich Projektów Badawczo-Rozwojowych. Instalacja zgazowania odpadów zlokalizowana została na terenie Zakładu Zagospodarowania Odpadów Komunalnych (rys. 1). Została ona zaprojektowana i wykonana



Fot. autora (10)

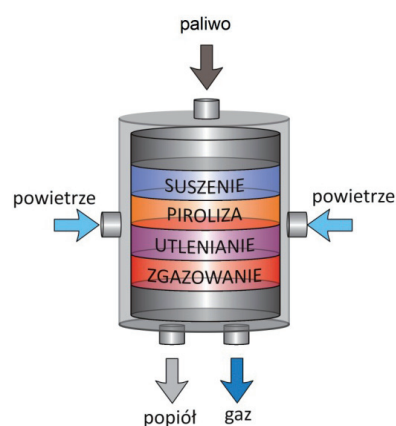
Rys. 1. Instalacja zgazowania odpadów komunalnych

przez zespół pracowników IMP PAN w Gdańsku.

W jej skład wchodzi kontener, odbiornik popiołu i zasobnik paliwa wraz z układem podawania. Rozmiary zasobnika pozwalają na jego jednorazowe napełnianie odpadami o masie 600 kg. W kontenerze znajduje się reaktor zgazowujący, aparatura kontrolno-pomiarowa oraz komora spalania, która zapewnia utrzymywanie gazów spalinowych w komorze spalania w temperaturze min. 850°C, przez ok. 2 sek. przy zawartości co najmniej 6% tlenu.

### ■ Reaktor zgazowujący

Spalanie choć dominujące, nie jest jedyną metodą odzysku energii z odpadów. W Nowym Dworze powstała instalacja zgazowania, ponieważ ten typ urządzenia ma istotne zalety w stosunku do kotłów i pieców. Pierwszym atutem zgazowania jest produkt jaki uzyskuje się w reaktorze, czyli syngaz będący mieszaniną CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>. Ze względu na skład chemiczny i jego wartość opałową, syngaz można spalać równie dobrze w kotle, jak i silniku spalinowym. Ta druga możliwość jest bardzo atrakcyjna, ze względu na stosunkowo niskie koszty agregatów prądotwórczych z gazowymi silnikami spalinowymi i wysoką cenę energii elektrycznej. Kluczową część procesu zgazowania prowadzi się w reaktorze ze złożem stałym, gdzie odpady przechodzą szereg procesów fizykochemicznych (rys. 2), w wyniku



Rys. 2. Zgazowanie w reaktorze ze złożem stałym współprądowym

których powstaje paliwo gazowe. Zasadniczo zgazowanie może być prowadzone na wiele różnych sposobów, ale w Nowym Dworze zastosowano reaktor współprądowy. Przesuwające się z góry w dół reaktora odpady najpierw podlegają suszeniu, następnie przechodzą pirolizę, czyli rozpad spowodowany wysoką temperaturą, dalej spalanie i utlenianie. Na przebieg tych procesów wpływa wiele czynników, takich jak: geometria reaktora, ilość i temperatura podawanego powietrza oraz skład paliwa. Pierwsza faza zgazowania, czyli suszenie to bardzo istotna część procesu, a na jego przebieg istotny wpływ ma początkowa wilgotność paliwa. Paliwo o dużej zawartości wilgoci wymaga więcej energii na odparowanie.

Piroliza, czyli beztlenowy rozkład termiczny paliwa na karbonizat (zwy-



kle stałe i czarne pozostałości po odpadach), frakcję ciekłą (głównie woda i smoły) oraz mieszaninę gazów ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$  i inne) stanowi kolejny proces zachodzący w reaktorze zgazowującym ze złożem stałym. Na proces ten istotny wpływ ma temperatura i rozdrobnienie zastosowanego paliwa, co wpływa na szybkość nagrzewania wsadu. Wielkość cząstek paliwa odpadowego wraz z ich gęstością masy i ciepłem właściwym jest istotnym czynnikiem, który determinuje szybkość wszystkich faz procesu zgazowania. Cząstki paliwa o dużej pojemności cieplnej wymagają dłuższego czasu prowadzenia procesu i większego nakładu energetycznego. Jak pokazano na rys. 2, do reaktora zgazowującego oprócz paliwa odpadowego, dostarczane jest powietrze, które służy utlenianiu części gazów pirolitycznych. Mieszanina gazowa powstająca w wyniku spalania gazów pirolitycznych składa się w dużej mierze z ditlenku węgla. W najniższej strefie reaktora  $\text{CO}_2$  reaguje z karbonizatem wytwarzając mieszaninę gazową, składającą się w głównej mierze z monotlenku węgla i wodoru oraz ditlenku węgla i metanu. W wyniku zgazowania, oprócz mieszaniny gazów, występuje także pozostałość stała. Pozostałością może być karbonizat o dużej zawartości części mineralnej, lub popiół nieróżniący się składem od popiołu powstającego w wyniku spalania. Na rys. 3 zestawiono zdjęcie reaktora do zgazowania z rozkładem temperatury dla reaktorów współprądowych. Najwyższa temperatura występuje w strefie spalania i tam dostarczane jest powietrze. W reaktorze w Nowym Dworze zamontowano dysze powietrzne na 4 różnych poziomach. Powyżej strefy spalania zachodzą reakcje pirolizy, które powodują znaczące zmniejszenie objętości i masy paliwa odpadowego, co wynika z dużej zawartości części lotnych. Powstałe w strefie pirolizy części lotne częściowo utleniane są w strefie spalania, częściowo także ulegają przemianie w strefie utleniania

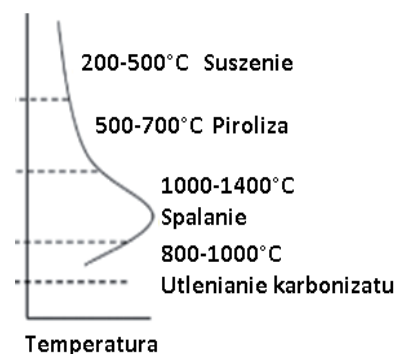
karbonizatu. Intensywność przemian części lotnych wpływa na zawartość smół w syngazie. Dla procesów prowadzonych w sposób współprądowy charakterystyczna jest mniejsza ilość smół, niż w przypadku procesu przeciwnopływowego.

### ■ Odpady komunalne

Do instalacji zgazowania trafia paliwo odpadowe (rys. 4), czyli to co nie nadaje się do ponownego użytku i recyklingu np. plastiki, meble, odzież, opakowania, a posiada wartość energetyczną. Paliwo odpadowe składa się z palnych odpadów takich jak papier, tworzywa sztuczne, tekstylia, drewno oraz guma.

Skład paliwa odpadowego zależy od składowiska, typu gospodarki odpadami, stopnia odzyskania surowców wtórnych w danym punkcie zbiórki odpadów, charakterystyki regionu z którego odbierane są odpady (gmina miejska, wiejska) oraz pory roku. Na rys. 5, przedstawiono przykładową morfologię odpadów pochodzących z wysypiska w Zakładzie Zagospodarowania Odpadów w Nowym Dworze, w której znaczący udział miały papier i tektura (45%) oraz tworzywa sztuczne (51%). Pozostałą część stanowiły tekstylia, biomasa oraz inne składniki frakcji.

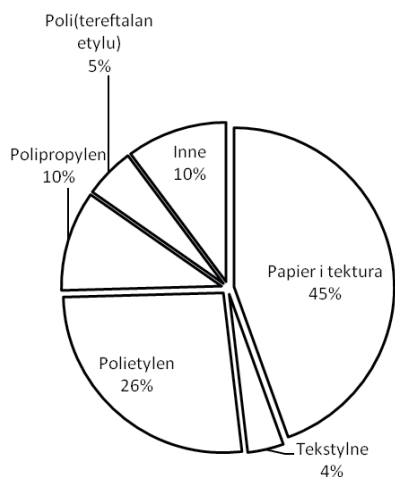
Tworzywa sztuczne stanowią znaczną część odpadów. Do najbardziej popularnych odpadów pochodzenia polimerowego można zaliczyć poli(tereftalan etylu) (PET), polietylen (PE) oraz polipropylen (PP). Poli(tereftalan etylu) jest tworzywem wykorzystywanym w przemyśle spożywczym do przechowywania i pakowania materiałów płynnych i półpłynnych, tj. napojów, soków, nabiału, itp. Polietylen jest materiałem odpornym na działanie kwasów, zasad i soli oraz wykazuje dobre właściwości dielektryczne. W przemyśle wykorzystuje się go jako tworzywo do produkcji rur, folii, opakowań, zabawek, narzędzi, izolacji elektrycznych, itp. Polipropylen jest wykorzystywany w przemyśle i budownictwie



Rys. 3. Reaktor zgazowania odpadów oraz rozkład temperatur w jego wnętrzu



Rys. 4. Paliwo odpadowe (RDF)



Rys. 5. Przykładowy udział masowy składników w paliwie odpadowym RDF z wysypiska w Nowym Dworze

Tab. 1. Analiza techniczna i elementarna paliwa odpadowego

Wartość opałowa [MJ/kg]	24,9
Analiza techniczna [%]	
Wilgoć	5,3
Części lotne	77,2
Karbonizat	5,1
Popiół	12,4
Analiza elementarna [%]	
C	46,46
H	6,52
O	46,26
N	0,34
S	0,25
Cl	0,17

w podobnych zastosowaniach jak PE. Ponadto, ze względu na podwyższoną twardość, znajduje on dodatkowo zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym oraz stoczniowym do produkcji wyposażenia samochodów, statków, budowy łodzi, itp.

W tab. 1 przedstawiono analizę techniczną i elementarną paliwa odpadowego RDF. Zmienny skład paliwa wtórnego wpływa mocno na jego skład pierwiastkowy oraz na zawartość części lotnych, karbonizatu i popiołu. Części

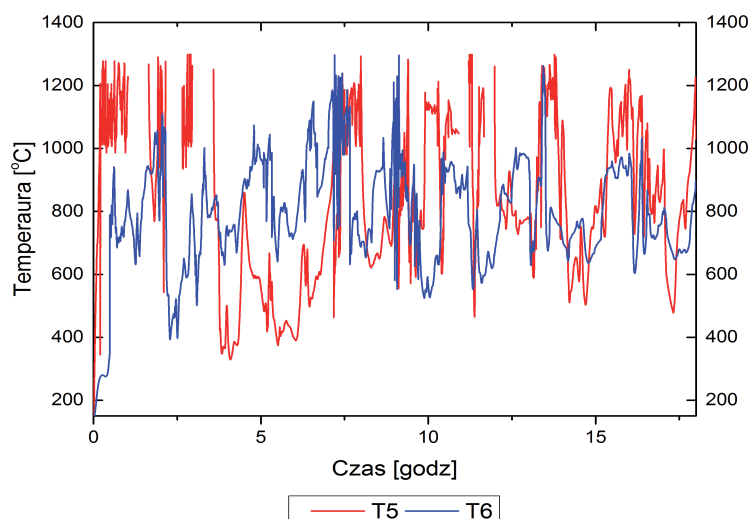
lotne w danej próbce mogą wahać się w przedziale 60-80%, zawartość popiołu 10-20%, karbonizatu natomiast w zakresie od 5 do 20%, przy czym ilość karbonizatu w dużej mierze zależy od sposobu prowadzenia procesu. Wahania te zależą od typu gospodarki odpadami, stopnia odzyskania surowców wtórnych w danym punkcie zbiórki odpadów, oraz charakterystyki regionu, z którego odbierane są odpady. W tab. 1 uwagę zwraca wysoka wartość opałowa paliwa odpadowego porównywalna

z dobrym jakościowo węglem kamiennym i wyraźnie wyższa niż dla drewna.

### ■ Zgazowanie odpadów komunalnych

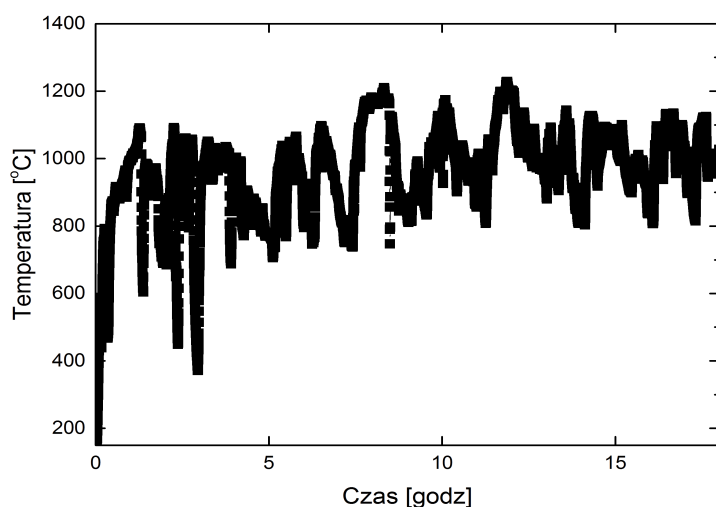
Instalacja zgazowania odpadów w Nowym Dworze przepracowała ponad 150 godz. w trakcie kilku całonocnych testów. Zasadniczo proces zgazowania przebiegał stabilnie, jednakże w trakcie prób cały czas występowały fluktuacje parametrów pracy urządzeń, przede wszystkim temperatury i ciśnienia. Na rys. 6 przedstawiono przykładowy rozkład temperatur w strefie spalania reaktora zgazowującego podczas pracy instalacji zgazowania w trybie 24-o godzinny. Po pierwszych dwóch godzinach związanych ze rozpaleniem, rozruchem oraz nagraniem reaktora temperatura utrzymywała się średnio na poziomie 1000°C.

Występujące podczas prób fluktuacje temperatury wynikały z dużej zmienności w składzie wsadu, co z kolei związane było z różnymi temperaturami upłyniania, pirolizy i spalania poszczególnych rodzajów odpadów. Różnice właściwości fizycznych i chemicznych poszczególnych składników powodowały zmiany w prędkości ruchu (osiadaniu) złoża. Chwilowe zawieszanie się złoża nad strefą spalania powodowało



Rys. 6. Rozkład temperatur w strefie spalania w reaktorze zgazowującym





Rys. 7. Rozkład temperatury w komorze spalania podczas zgazowania odpadów komunalnych



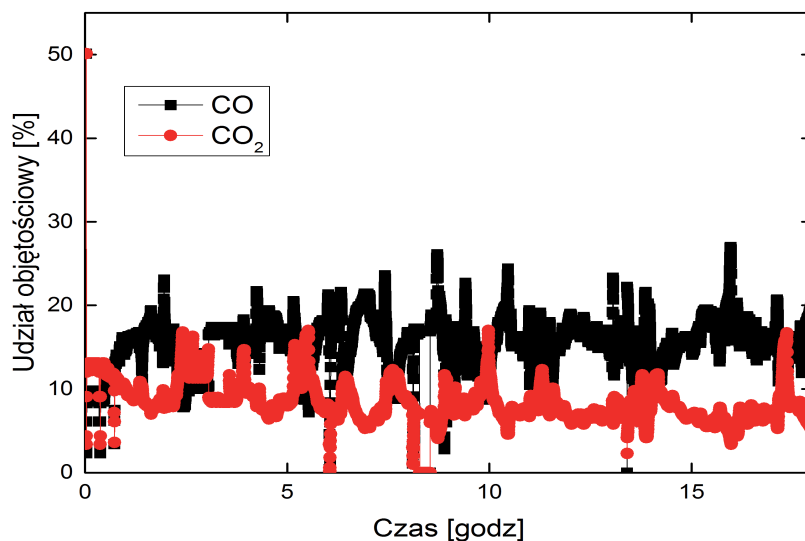
Rys. 8. Spalanie syngazu w komorze spalania

obniżanie się tej strefy i prowadziło do opadania dużych ilości paliwa oraz ponowne przesuwanie się strefy spalania w górę reaktora.

Istotne znaczenie dla pracy instalacji zgazowania odpadów komunalnych ma temperatura w komorze spalania (utrzymywanie gazów spalinowych w temperaturze min. 850°C przez co najmniej 2 sekundy). Ze względu na wysoką kaloryczność gazu oraz wygrzanie komory średnia temperatura utrzymywała się na poziomie 1100°C (rys. 7). Komora spalania ze względu na swoją masę ma dużą bezwładność cieplną. Nawet w przypadku chwilowego zmniejszenia się kaloryczności gazu spaliny utrzymywane są w wymaganej temperaturze dzięki pobieraniu ciepła z rozgrzanych ścianek komory (rys. 8).

Podczas procesu zgazowania zawartość monotlenku węgla utrzymywała się na poziomie ok. 20%, a ditlenku węgla 10-15%, co przedstawia rys. 9. Stosunkowo krótka strefa redukcji oraz długa strefa pirolizy sprzyjała dużej zawartości metanu (6-10%) oraz wodoru (do 20%).

Duży stosunek stężenia CO do CO<sub>2</sub> wskazuje na poprawną pracę zgazowarki. Ditlenek węgla powinien ulegać redukcji na złożu rozgrzanego karbonizatu. Efektem tego jest podwyższenie kaloryczności gazu oraz redukcja ma-



Rys. 9. Zawartość mono oraz ditlenku węgla w gazie procesowym

sy karbonizatu poprzez jego utlenienie. Stosunek CO/CO<sub>2</sub> to jeden z podstawowych parametrów pracy zgazowarki i jakości gazu syntezowego. Na jego wpływ w największym stopniu wpływa czas przebywania gazu w strefie rozgrzanego karbonizatu oraz temperatura. Wysoka temperatura jest warunkiem zachodzenia reakcji Boudarda oraz powoduje przesunięcie stałej równowagi w kierunku tworzenia się tlenku węgla.

## Wnioski

Pierwsza w Polsce kontenerowa instalacja zgazowania odpadów komunalnych w Nowym Dworze pod Chojnicami przeszła testy sprawdzające jej działania. Wydajność instalacji wynosi około 70 kg paliwa odpadowego na godzinę, co oznacza ponad 1600 kg na dobę. Gaz syntezowy powstający w instalacji ma wartość kaloryczną 7 MJ/Nm<sup>3</sup>. □