

Instytut Maszyn Przepływowych PAN

Autotermiczny reaktor grawitacyjny zgazowania odpadów komunalnych

Sprawozdanie z wykonania projektu WFOŚ/D/748/61/2015

Dariusz Kardaś, Jacek Kluska
2016-09-30

dr hab inż. Dariusz Kardaś, prof. IMP PAN
dr inż. Jacek Kluska

SPRAWOZDANIE z projektu

„Autotermiczny reaktor grawitacyjny zgazowania odpadów komunalnych”
nr umowy WFOŚ/D/748/61/2015 z dnia 31.05.2016
dla
Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w
Gdańsku
ul. Straganiarska 24/27, Gdańsk

Podstawa opracowania

Praca została wykonana 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. Jest to wspólne przedsięwzięcie IMP PAN, ZZO Nowy Dwór oraz firmy Eco - Construction.



Rys. 1 Instalacja zgazowania odpadów w Nowym Dworze

Instalacja zgazowania odpadów zlokalizowana jest na terenie Zakładu Zagospodarowania Odpadów (ZZO) w Nowym Dworze (), posiadającego status Regionalnej Instalacji Przetwarzania Odpadów Komunalnych (RIPOK). ZZO Nowy Dwór znajduje się w gminie Chojnice powiatu chojnickiego.

Spis treści

Etap 1. Badania zgazowania mieszanek paliwa wtórnego i biomasy w reaktorze Pomian.....	6
Etap 2. Projekt instalacji autotermicznego zgazowania paliwa odpadowego i oczyszczania syngazu	11
Etap 3. Budowa i montaż instalacji pilotażowej.....	13
Etap 4. Uruchomienie instalacji autotermicznego zgazowania paliwa wtórnego	16
Etap 5. Wielowariantowe badania eksperymentalne zgazowania paliwa i oczyszczania syngazu	18
Etap 6. Badania i optymalizacja układu transportu smół i pyłów lotnych do reaktora.....	25
Konferencje i publikacje	26
Podsumowanie.....	28

Etap 1. Badania zgazowania mieszanek paliwa wtórnego i biomasy w reaktorze Pomian

W ramach Etapu 1 projektu przeprowadzono analizę techniczną oraz elementarną frakcji RDF oraz przeprowadzono badania procesu zgazowania odpadów komunalnych na istniejącym, zaprojektowanym w IMP, reaktorze ogólnego przeznaczenia.

Wysokoenergetyczna frakcja odpadowa składa się przede wszystkim z palnych odpadów komunalnych takich jak papier, tworzywa sztuczne, tekstylia, drewno oraz guma. Skład ten może być różny w zależności od składowiska, pory roku itp. Można jednak przyjąć, iż znaczny udział masowy tego paliwa stanowią papier i tekstura oraz tworzywa sztuczne. Pozostałą część stanowią tekstylia oraz pozostałe składniki frakcji odpadów.

Do najbardziej rozpowszechnionych materiałów tego typu 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 polimerem etenu. W przemyśle wykorzystuje się go jako tworzywo do produkcji rur, folii, opakowań, zabawek, narzędzi, izolacji elektrycznych itp. Polipropylen powstaje w wyniku niskociśnieniowej polimeryzacji propylenu. Jest to tworzywo wykorzystywane w przemyśle i budownictwie w zastosowaniach podobnych do PE.

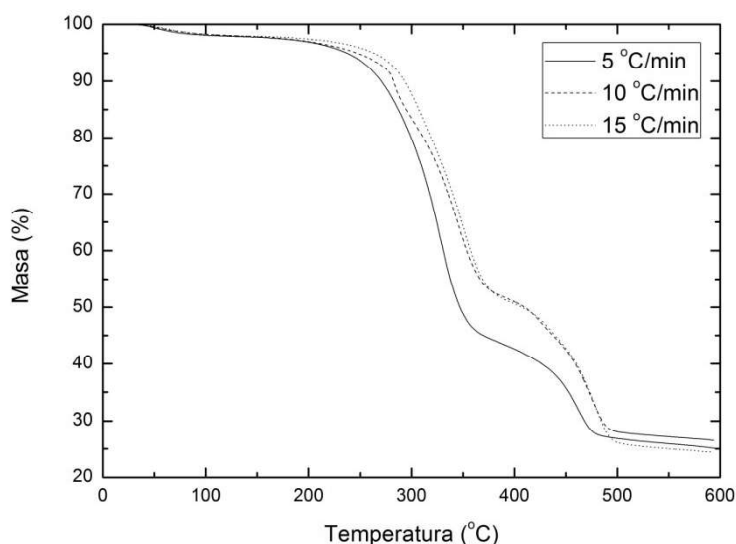
Tabela 1 przedstawia analizę techniczną i elementarną przykładowej frakcji RDF wykonaną w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku. Należy zauważyć, że w przypadku odpadów, zmienna morfologia wpływa znacząco na jego skład elementarny oraz na zawartość części lotnych, karbonizatu i popiołu. Części lotne w danej próbce mogą wahać się w przedziale od 60% do 80%, zawartość popiołu zmienia się w zakresie od 10% do 20%, zaś karbonizatu od 5% do 20%.

Tabela 1 Właściwości techniczne i skład elementarny frakcji RDF

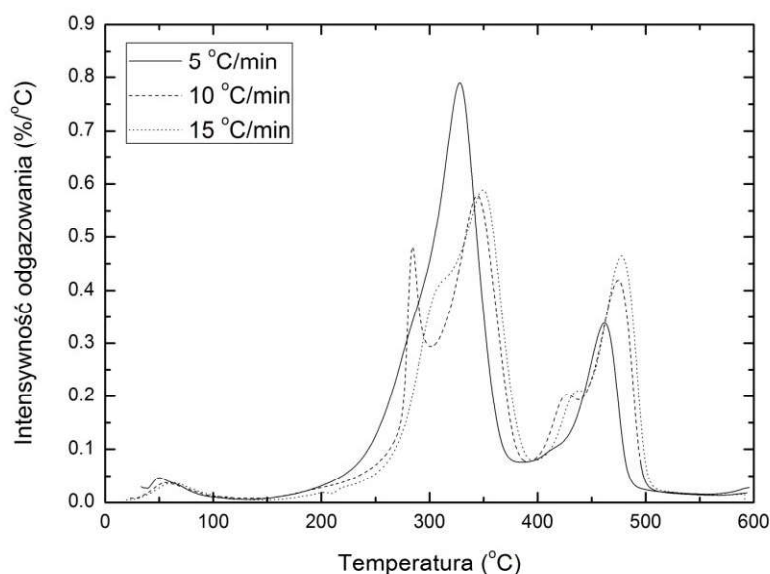
Wartość opałowa [MJ/kg]	24,9
Wilgoć	5,3
Części lotne	77,2
Karbonizat	5,1
Popiół	12,4
Skład elementarny [%]	
C	46,46
H	6,52
O	46,26
N	0,34
S	0,25
Cl	0,17

RDF będący mieszaniną tworzyw sztucznych, tekstyliów, odpadów drzewnych i papierniczych, charakteryzuje się dużą niejednorodnością, co istotnie wpływa na proces

zgazowania. Analiza wyników termicznego rozkładu próbek RDF (Rys. 2) wykazała, iż początek ubytku masy nastąpił w temperaturze 150 °C, zaobserwowano także dwa obszary intensywnego procesu rozkładu. Jest to silnie związane ze zróżnicowanym składem badanej frakcji. Pierwszy etap pirolizy paliwa odpadowego wystąpił w zakresie temperatur 150 °C – 395 °C, drugi natomiast w zakresie 395 °C – 520 °C (Rys. 3).



Rys. 2 Przebieg krzywych termograwimetrycznych frakcji RDF w atmosferze azotu przy różnej prędkości ogrzewania próbek



Rys. 3 Przebieg krzywych intensywności odgazowania frakcji RDF w atmosferze azotu przy różnej prędkości ogrzewania próbek

Wysokoenergetyczna frakcja odpadowa przeanalizowana została również pod kątem kaloryczności oraz składu popiołu po jej spalaniu. Wyniki pomiarów ciepła spalania RDF wykonane zgodnie z normą PN-EN 15400:2011 wykazały, że jego wartość ze składowiska ZZO Nowy Dwór wyniosła 29 MJ/kg, co świadczy o dużej kaloryczności badanej frakcji.

Skład głównych oraz śladowych związków chemicznych w popiele wykonany zgodnie z normami PN-EN 15410: 2011 oraz PN-EN 15411:2011 wykazał znaczą zawartość takich składników jak CaO, Cl, TiO₂, SiO₂, Al₂O₃ i inne (Tabela 2).

Tabela 2 Skład głównych oraz śladowych związków chemicznych w popiele ze spalania frakcji RDF

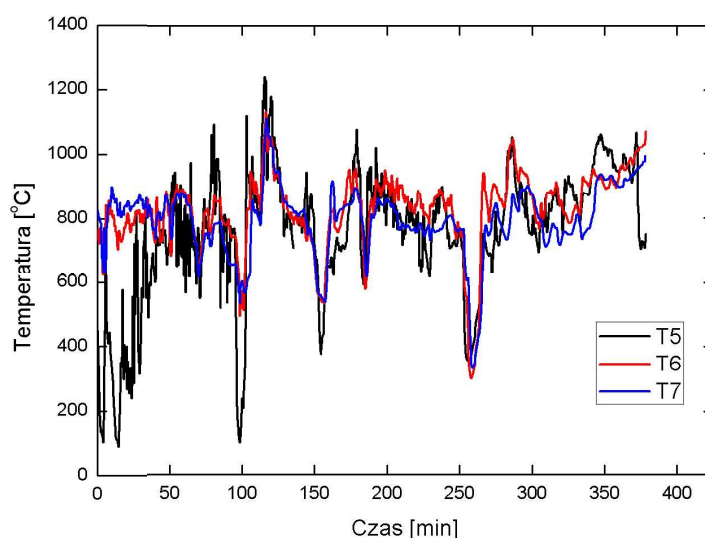
Składnik	Zawartość [%]
CaO	39,75
Cl	13,59
TiO ₂	9,23
SiO ₂	7,85
Al ₂ O ₃	4,15
Fe ₂ O ₃	3,67
MgO	2,74
K ₂ O	2,66
Na ₂ O	1,96
SO ₃	1,48
P ₂ O ₆	1,39
BaO	1,32
ZnO	0,39
PbO	0,33
CuO	0,26
Cr ₂ O ₃	0,05
SrO ₃	0,05
MnO	0,04

W celu wyznaczenia optymalnych warunków zgazowania frakcji RDF oraz zaprojektowania i wykonania instalacji zgazowującej ok. 100 kg/h odpadów, w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN przeprowadzono badania eksperymentalne w reaktorze wielopaliwowym Pomian (Rys. 4). Badania eksperymentalne zgazowania frakcji odpadowej wykonano dla wsadu RDF o rozdrobnieniu od 30 do 40 mm. Czynnikiem zgazującym wykorzystanym w badaniach było powietrze. W eksperymentach średnia ilość zużycia paliwa wynosiła ok. 40 kg/h.



Rys. 4 Reaktor zgazowujący Pomian

Na Rys. 5 przedstawiono rozkład temperatur w strefie utleniania i redukcji w reaktorze Pomian. Proces zgazowania charakteryzował się dużymi fluktuacjami temperatur, co spowodowało, iż w projekcie uwzględniono cztery strefy podawania powietrza.



Rys. 5 Rozkład temperatur w strefie utleniania (T5,T6) i redukcji (T7) podczas zgazowania mieszanki RDF/biomasa

Otrzymany w procesie gaz zawierał 18% wodoru, 23% monotlenku węgla oraz 1,9% metanu, co przekłada się na wartość opałową na poziomie $5,5 \text{ MJ/Nm}^3$.

Badania eksperymentalne zgazowania dla frakcji RDF wykonano również w małym reaktorze Inka (Rys. 6), który tak jak wszystkie zaprezentowane w sprawozdaniu konstrukcje powstał w IMP PAN. Paliwo do tego reaktora podawano wsadowo w ten sposób, że gdy wsad w reaktorze opadał do poziomu dysz powietrza następował zasyp świeżego paliwa. Badania eksperymentalne zgazowania frakcji odpadowej wykonano dla wsadu RDF o rozdrobnieniu do 30 mm. Czynnikiem zgazowującym wykorzystanym w badaniach było powietrze.



Rys. 6 Reaktor Inka do zgazowania RDF

Uzyskane wyniki w reaktorze Pomian i Inka były podstawą dla prac konstrukcyjnych reaktora nowej generacji. Podczas prowadzonych badań eksperymentalnych zaobserwowano efekt powstawania spieków upłynniającego się paliwa (Rys. 7), które przyklejały się do ścianek reaktora tworząc duże bryły, które blokowały ruch złoża w dół reaktora. W celu rozwiązania tego problemu w projektowanym dla ZZO reaktorze zdecydowano się na zastosowanie wkładek ceramicznych, których zadaniem było wyeliminowanie przyklejania się paliwa do ścianek reaktora.

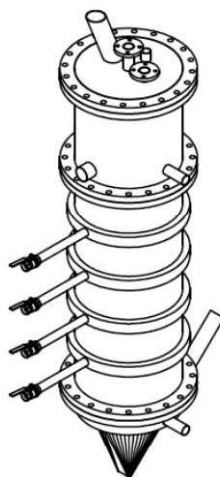


Rys. 7 Spieki powstające podczas zgazowania odpadów komunalnych

Etap 2. Projekt instalacji autotermicznego zgazowania paliwa odpadowego i oczyszczania syngazu

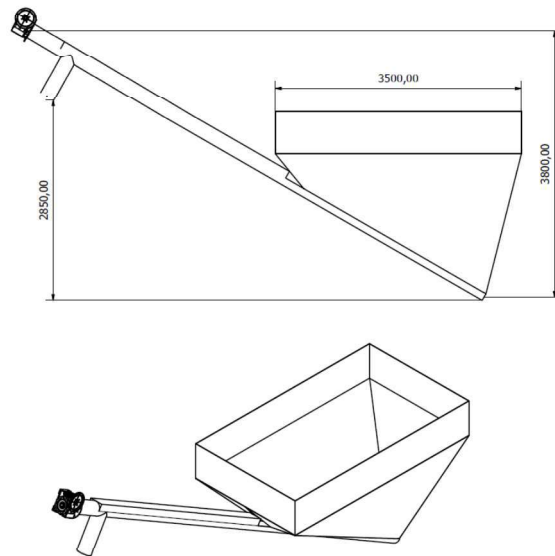
Prace eksperymentalne i obliczenia numeryczne procesu przeprowadzone w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN pozwoliły na wyznaczenie optymalnych parametrów geometrycznych reaktora, które zostały dobrane tak, aby uzyskać min. 300 kW mocy cieplnej, co odpowiada przepustowości reaktora na poziomie ok. 100kg na godzinę.

Zaprojektowany w Etapie 2 projektu reaktor posiada 2831 mm wysokości oraz średnicę wewnętrzną 320 mm (Rys. 8). Pod względem konstrukcyjnym składa się on z trzech sekcji połączonych kołnierzami. Projekt zakłada pomiar temperatury w siedmiu punktach uwzględniających strefę suszenia, pirolizy, utleniania i redukcji, a także pomiar temperatury pod rusztem oraz cztery punkty podawania powietrza do reaktora. Górna sekcja reaktora wyposażona jest we wlot i wylot gazów procesowych, umożliwiających pobór gazów pirolitycznych, a także przeponowy kontakt gazu powstałego w procesie zgazowania ze strefą suszenia, co ma na celu jego schłodzenie (oczyszczenie) oraz wstępne ogrzanie paliwa. Drugą sekcję stanowi układ związany z utlenianiem części lotnych oraz redukcją gazów procesowych na złożu karbonizatu. Trzecią sekcję stanowi popielnik z układem doprowadzenia powietrza, którego zadaniem jest dopalanie pozostałości stałych procesu zgazowania oraz ślimakowy układ odbioru popiołu.



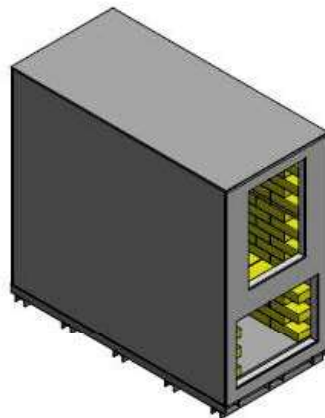
Rys. 8 Projekt reaktora zgazowującego

W celu wyznaczenia optymalnej geometrii zasobnika na paliwo podawanego do reaktora zgazowującego przeprowadzono wyjazd studyjny oraz konsultacje w ZZO NOWY DWÓR. Zasobnik na paliwo został zaprojektowany i dostosowany do możliwości związanych z załadunkiem za pomocą łyżki załadowniczej. Ze względu na jej szerokość ustalono, iż szerokość zasobnika wyniesie 3,5m, a jego maksymalna wysokość 3m (Rys. 9). Uzyskane rozwiązanie pozwala jednorazowo załadować do zasobnika paliwa wsad o masie ok. 600 kg.



Rys. 9 Projekt układu podawania paliwa do reaktora zgazowującego

Ze względu na Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów, zaprojektowano również komorę spalania gazu procesowego (Rys. 10). Komora spalania syngazu o mocy cieplnej 300kW wyposażona jest w trójciągowy izolowany kanał spalin, bez chłodzenia wodnego.



Rys. 10 Projekt komory spalania gazu procesowego ze zgazowania odpadów komunalnych

Etap 3. Budowa i montaż instalacji pilotażowej

W ramach realizowanego Etapu 3 wykonano w pierwszej kolejności prace modernizacyjne kontenera uwzględniające wymianę podłogi, montaż instalacji elektrycznej oraz układu kontrolno – pomiarowego (Rys. 11, Rys. 12).



Rys. 11 Montaż podłogi oraz instalacji elektrycznej Rys. 12 Układ kontroli i sterowania instalacją zgazowania

Po przeprowadzeniu badań eksperymentalnych w IMP PAN, w kolejnym kroku zaprojektowano i wykonano reaktor zgazowujący (Rys. 13), który następnie zamontowano w kontenerze. Reaktor wyposażono w cztery punkty doprowadzania powietrza, co pozwoliło na sterowaniem wysokością złoża w reaktorze a przez to intensywnością procesu zgazowania.



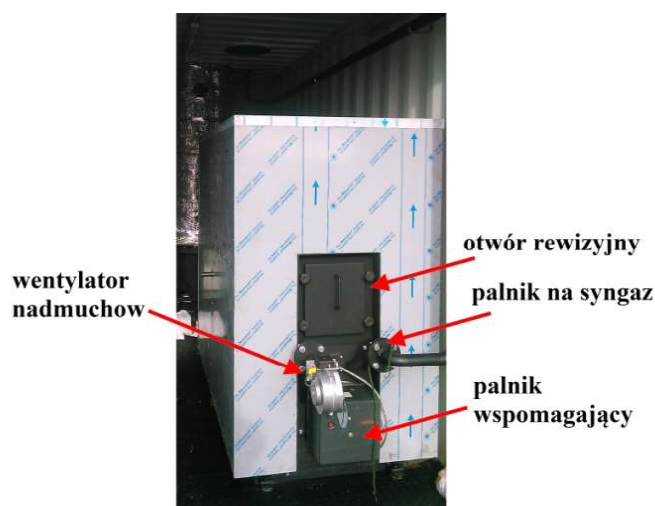
Rys. 13 Budowa reaktora zgazowującego odpady komunalne

Reaktor został zamontowany w kontenerze, następnie podłączono do niego instalacje powietrzną a na końcu został on zaizolowany (Rys. 14).



Rys. 14 Reaktor zgazowujący podczas montażu i jego końcowa postać

Instalacja zgazowania wyposażona została w komorę spalania (Rys. 15), która zapewnia utrzymanie wysokiej temperatury spalin przez odpowiednio długi czas. Komora wyposażona została dodatkowo w wentylator nadmuchowy, palnik gazu procesowego oraz wspomagający palnik pilotowy.



Rys. 15 Komora spalania gazu procesowego

Ostatnim elementem instalacji realizowanym w ramach projektu jest układ podawania paliwa odpadowego i jest to pierwszy element ciągu technologicznego do termicznego przetwarzania odpadów. Składa się on z zasobnika, podajnika ślimakowego oraz

układu hydrauliki siłowej (Rys. 16). Odpady komunalne po wcześniejszym rozdrobnieniu do rozmiaru do 40 mm trafiają do zasobnika. Z zasobnika paliwo odpadowe transportowane jest do reaktora za pomocą podajnika ślimakowego. Ostatnim etapem prac był z (Rys. 17).



Rys. 16 Układ podawania paliwa

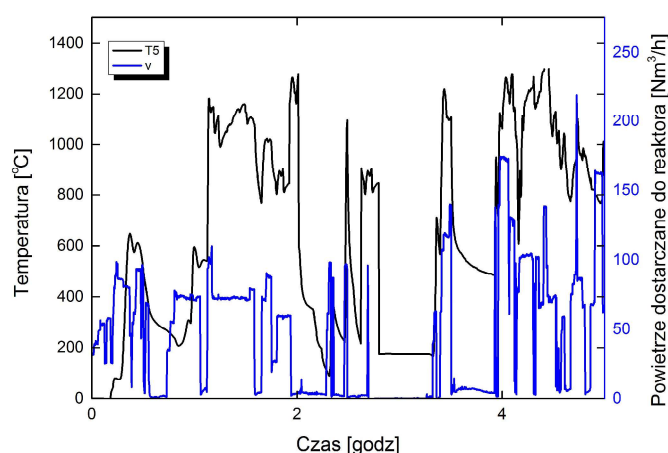


Rys. 17 Montaż instalacji zgazowania odpadów komunalnych w ZZO Nowy Dwór

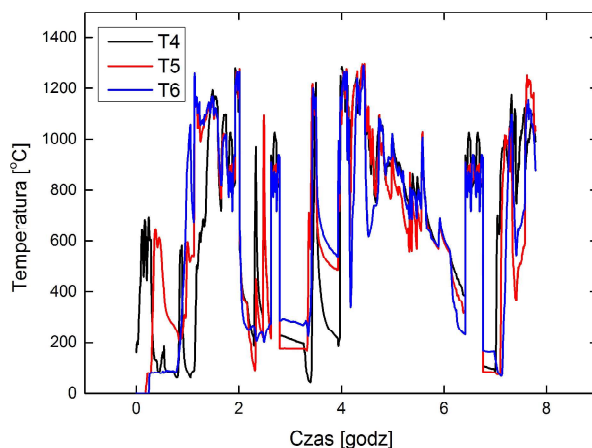
Etap 4. Uruchomienie instalacji autotermicznego zgazowania paliwa wtórnego

Podstawowym celem podczas uruchomienia i rozruchu instalacji zgazowania odpadów komunalnych była analiza pracy poszczególnych elementów instalacji: układu podawania paliwa, reaktora zgazowującego oraz komory spalania syngazu. W trakcie prac rozruchowych sprawdzono również poprawność działania układu kontrolno–pomiarowego.

Najistotniejszym aspektem prac rozruchowych było wyznaczenie charakterystyki pracy reaktora zgazowującego, tj. wpływu ilości powietrza podawanego do reaktora oraz jego miejsca jego podawania na rozkład temperatur w reaktorze. Rozruch wykonano na mieszaninie odpadów drzewnych oraz komunalnych, a w dalszej części już tylko na odpadach komunalnych. Na Rys. 18 przedstawiono wpływ ilości dostarczanego powietrza do reaktora na rozkład temperatury w strefie utleniania. Jak widać zmiany w ilości podawanego powietrza miały bezpośredni i kluczowy wpływ na spadek/wzrost temperatur w reaktorze (Rys. 19).



Rys. 18 Wpływ ilości dostarczanego powietrza do reaktora na rozkład temperatury w strefie utleniania



Rys. 19 Rozkład temperatur w strefie utleniania (T4,T5) i redukcji (T6) reaktora zgazowującego podczas prac rozruchowych

Etap 5. Wielowariantowe badania eksperymentalne zgazowania paliwa i oczyszczania syngazu

Podczas realizacji Etapu 5 wykonano w pierwszej kolejności prace optymalizacyjne i modernizacyjne części instalacji, które zostały zidentyfikowane na etapie rozruchu. Na tym etapie prowadzonych prac modernizacje są nieodłącznym elementem i sumą wszystkich etapów prac projektowania, budowy i uruchamiania. W trakcie pierwszych wielogodzinnych eksploatacji instalacji pojawiały się różnego rodzaju problemy techniczne, które musiały być rozwiązane a odpowiednie urządzenia zmodernizowane, by uzyskać operacyjność. Etap ten wykazał problemy techniczne związane głównie z układem zrzutowym paliwa, mieszalnikiem paliwa w zasobniku oraz osiadaniem paliwa w reaktorze.

Podczas prowadzonych prac, na zrębkach drzewnych oraz odpadach komunalnych, zaobserwowano problem z kumulacją paliwa w rurze ślimaka za otworem wlotu paliwa do reaktora (Rys. 20), który powodował nierównomierne podawanie paliwa do reaktora.



Rys. 20 Wlot paliwa do reaktora

Ze względu na pojawiające się problemy z transportem paliwa przeprowadzono dyskusję na temat przyczyn blokowania się wsadu w podajniku ślimakowym. Analiza zagadnienia wykonana przez zespoły IMP i Remex wskazała na przewężenie, jako przyczynę kumulacji odpadów w części końcowej podajnika. W celu usunięcia blokady paliwa zaproponowano następujące rozwiązania:

- zwiększenie średnicy rury pionowej dostarczającej paliwo bezpośrednio do reaktora,
- montaż układu kierownic w części końcowej podajnika.

Wymiana układu zrzutowego paliwa do reaktora pozwoliła na stabilne opadanie odpadów komunalnych (Rys. 21).



Rys. 21 Układ wlotowy paliwa

Następne prace modernizacyjne związane były z modyfikacją zasobnika na paliwo, w którym zaobserwowano okresowe zawieszanie się paliwa (Rys. 22). Zastosowane rozwiązanie polegało na montażu dodatkowego mieszalnika paliwa wraz z układem napędowym oraz przekładnią (Rys. 23) i pozwoliło na stabilną pracę układu podawania paliwa.



Rys. 22 Okresowe zawieszanie się paliwa w zasobniku



Rys. 23 Mieszalnik paliwa w zasobniku

Po wyeliminowaniu problemów technicznych wielowariantowym badaniom poddano odpady komunalne o rozdrobnieniu ok. 40 mm, składające się głównie z tworzyw sztucznych, biomasy, tekstyliów (Tabela 3)

Tabela 3 Morfologia suchych odpadów komunalnych

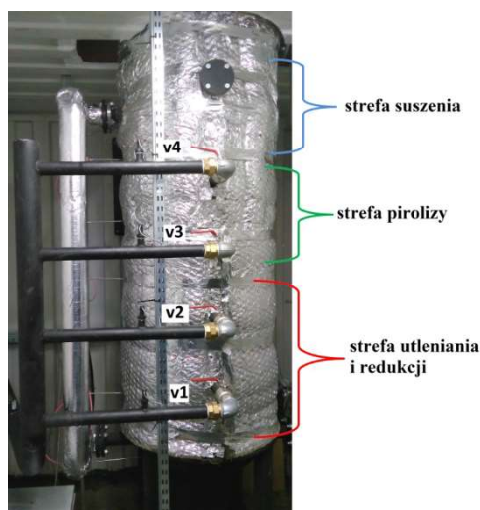
Składnik:	Zawartość [%]
Makulatura	3,54
Tekstylia	2,4
Biomasa	13,78
PCV	8,78
ABS	5,76
PS	1,44
POLIMERY MIX (PP, PE)	62,9

Wyniki pomiaru CHNO wykonane zgodnie z normą PN-EN 15407:2011 wykazały, iż zawartość węgla w mieszaninie odpadów wynosi 63%, tlenu 16 a wodoru 6% (Tabela 4).

Tabela 4 Analiza CHN-O mieszaniny odpadów komunalnych

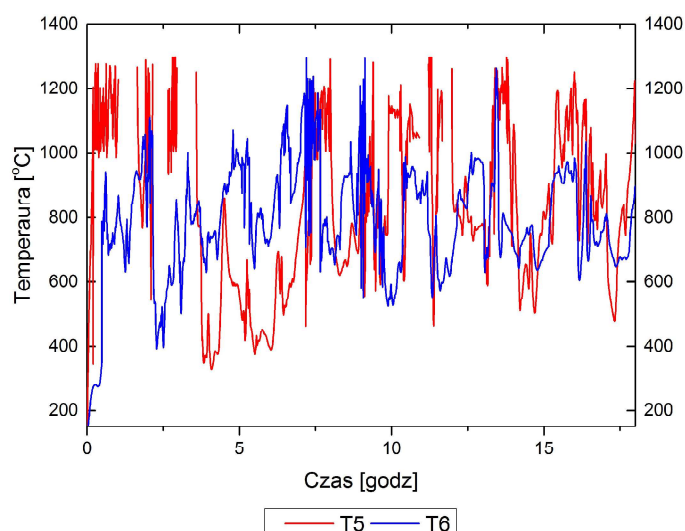
	Zawartość [%]
C	63,01
H	6,72
N	1,24
O	16,74

Na Rys. 24 przedstawiono orientacyjny rozkład stref w reaktorze podczas procesu zgazowania oraz punkty podawania powietrza do reaktora (v1-v4). Ze względu na złe działanie sekcji przeponowego ogrzewania wsadu obniżono punkty podawania powietrza tylko do stref v1 i v2, co spowodowało skrócenie strefy suszenia i pirolizy.



Rys. 24 Orientacyjny rozkład stref w reaktorze zgazującym oraz punkty podawania powietrza do reaktora

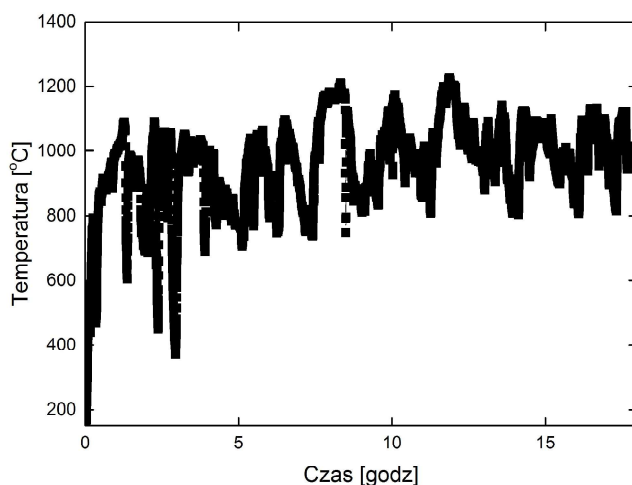
Na Rys. 25 przedstawiono przykładowy rozkład temperatur w strefie spalania reaktora zgazującego podczas pracy instalacji zgazowania w trybie 24 – godzinny. Po dwóch pierwszych dwóch godzinach związanych z rozpaleniem, rozruchem oraz nagrzaniem reaktora temperatura w reaktorze utrzymywała się średnio na poziomie 900 °C.



Rys. 25 Rozkład temperatur w strefie spalania w reaktorze zgazowującym

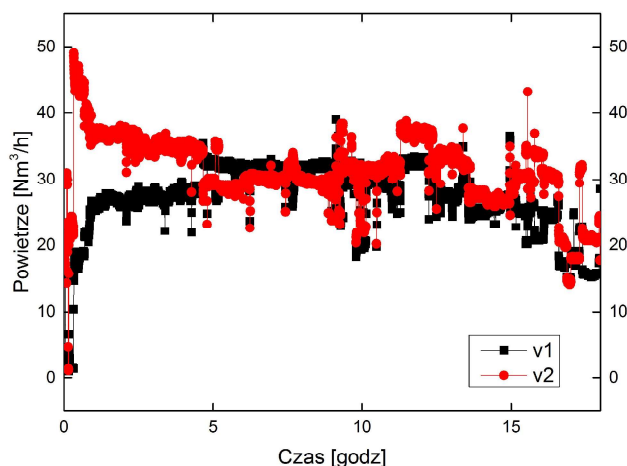
Podczas pracy reaktora występowały fluktuacje temperatury. Duża zmienność w składzie wsadu powodowała różnice w osiadaniu złoża, ze względu na procesy upłynniania, pirolizy i spalania poszczególnych rodzajów odpadów. Aby wymusić stabilne osiadanie złoża oraz zintensyfikować proces spalania zamontowano układ mieszający z punktowym dostarczaniem powietrza.

Istotne znaczenie dla pracy instalacji zgazowania odpadów komunalnych miała temperatura w komorze spalania (utrzymywanie gazów spalinowych w komorze spalania 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 950 °C (Rys. 26).

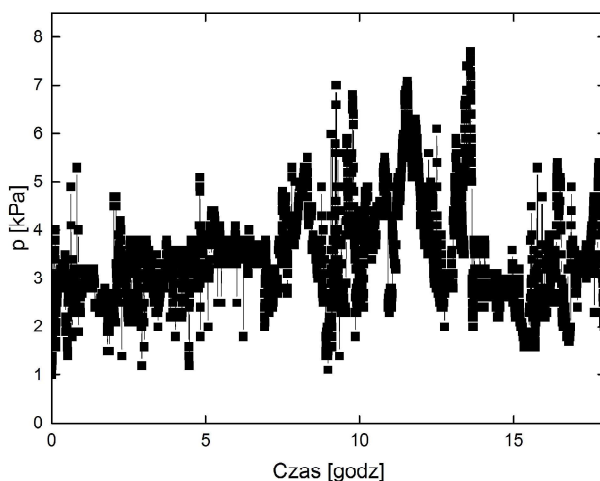


Rys. 26 Rozkład temperatury w komorze spalania podczas zgazowania odpadów komunalnych

Podczas prowadzonych badań ilość podawanego do procesu powietrza wynosiła 70 Nm^3/h , które podawane było dwoma dolnymi pierścieniami (v1 i v2, Rys. 27). Ilość paliwa podawana do reaktora wynosiła średnio 70 kg/h. Proces ten charakteryzował się również stałym ciśnieniem panującym w reaktorze, które utrzymywało się na poziomie 2-7 kPa (Rys. 28).

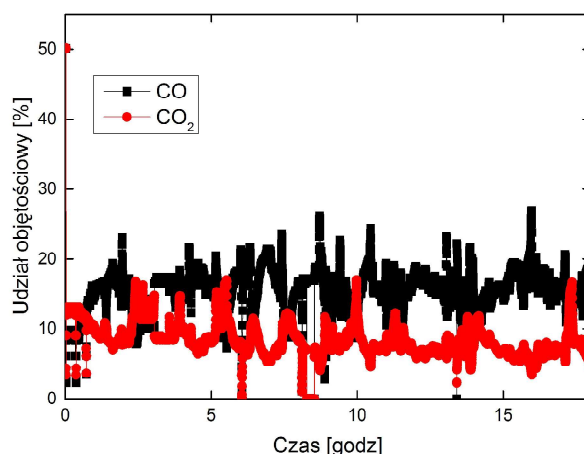


Rys. 27 Ilość powietrza podawanego do procesu zgazowania odpadów



Rys. 28 Ciśnienie w reaktorze podczas zgazowania odpadów komunalnych

Podczas procesu zgazowania zawartość monotlenku węgla utrzymywała się na poziomie ok. 20%, a ditlenku węgla 10 - 15% (Rys. 29). Stosunkowo krótka strefa redukcji oraz długa strefa pirolizy sprzyjała dużej zawartości metanu (6-10%) oraz wodoru (do 20%). Otrzymane wyniki wskazują, iż zgazowanie odpadów komunalnych na instalacji zlokalizowanej w ZZO charakteryzuje się wyższą wartością opałową syngazu (ok. 7 MJ/Nm^3), niż miało to miejsce w przypadku zgazowania odpadów komunalnych w reaktorze laboratoryjnym znajdującym się w IMP PAN w Gdańsku (ok. 5,5 MJ/Nm^3).



Rys. 29 Zawartość mono oraz ditlenku węgla w gazie procesowym

Podczas prowadzonych badań zgazowania odpadów komunalnych przeanalizowano również wpływ ilości powietrza dostarczanego do reaktora na skład otrzymywanego gazu. Podawanie powietrza na poziomie 50 - 60 Nm³/h skutkowało stosunkowo krótką strefą redukcji i niską zawartością monotlenku węgla (10-15%), ale długą strefą pirolizy i wysoką zawartością wodoru, metanu i węglowodorów o dłuższych łańcuchach. Zwiększenie ilości podawanego powietrza do 100 Nm³/h oraz otwarcie dwóch dodatkowych poziomów wlotu powietrza do reaktora spowodowało wzrost strefy redukcji i zwiększenie zawartości CO w gazie do 20 - 25% oraz duży spadek zawartości węglowodorów o dłuższych łańcuchach (krótka strefa pirolizy).

Ze względu na specyfikę prowadzonego procesu oraz przepisy związane z klasyfikacją odpadów w ZZO Nowy Dwór wykonano analizę powstałych popiołów. Tabela 5 przedstawia analizę XRF popiołu pochodzącego z procesu zgazowania odpadów komunalnych w trybie 24 - godzinny. Do głównych składników należą tlenek wapnia, tlenek krzemu, chlor, tlenek tytanu, tritlenek dwuglinu oraz tlenek żelaza.

Tabela 5 Analiza zawartości popiołu

Formula	Concentration
CaO	65,5
SiO ₂	8,92
Cl	5,93
TiO ₂	5,36
Al ₂ O ₃	4,36
Fe ₂ O ₃	3,79
SO ₃	1,44
MgO	1,16
ZnO	0,73
Na ₂ O	0,73
K ₂ O	0,65
P ₂ O ₅	0,56
BaO	0,3
Br	0,14
CuO	0,11
PbO	0,11
MnO	0,08
SrO	0,06
CeO ₂	0,05
Cr ₂ O ₃	0,04
ZrO ₂	0,03

Podczas prowadzonych badań mierzono również zawartość NO_x w spalinach w zależności od współczynnika lambda. Jak pokazuje poniższa Tabela 6 wzrost współczynnika nadmiaru powietrza podczas spalania gazu procesowego w komorze spalania spowodował wzrost NO_x z 288 (lambda=1,01) do 881 mg/Nm³.

Tabela 6 Analiza emisji NO_x w spalinach

NO _x [mg/Nm ³]	lambda
388	0,95
288	1,01
655	1,07
762	1,09
881	2,39

Etap 6. Badania i optymalizacja układu transportu smół i pyłów lotnych do reaktora

W celu wstępnego ogrzania wsadu oraz redukcji cząstek stałych w reaktorze zastosowano podwójny płaszcz w górnej części reaktora. Rozwiązanie to spowodowało przylepianie się paliwa do rozgrzanej ścianki a także nadmierne osadzanie się cząstek paliwa w zewnętrznym pierścieniu, co doprowadziło do zatkania się rury wylotowej gazu procesowego. W celu rozwiązania tego problemu zamontowano na wyjściu z reaktora separator cząstek stałych (Rys. 30) oraz dodatkowy zbiornik na cząstki paliwa (Tys. 31).



Rys. 30 Cyklon



Rys. 31 Zbiornik na cząstki stałe

Konferencje i publikacje

Podczas realizacji projektu pracownicy IMP PAN brali udział w następujących konferencjach, na których prezentowali technologię zgazowania odpadów z ZZO Nowy Dwór

1. 19-20 maja 2016r - Regionalna Konferencja pn. „Gospodarka odpadami komunalnymi na terenie powiatu chojnickiego i człuchowskiego”

Konferencja została objęta Patronatem Starosty Chojnickiego i Starosty Człuchowskiego. Dwudniowa Konferencja miała na celu wzmocnienie współpracy pomiędzy gminami a RIPOKiem i instytucjami związanymi z gospodarką odpadami. Na konferencji nie zabrakło również tematów związanych z innowacjami wdrażanymi w Zakładzie ZZO Nowy Dwór. Na konferencji wygłoszono referat pt. *„Technologia zgazowania odpadów z ZZO Nowy Dwór. Szansa na innowacyjność polskiej gospodarki odpadami. Projekt a realizacja”*.

2. 16 - 17 czerwca 2016 r. - V Bałtyckie Forum Biogazu

Tematyka spotkania związana była z zagadnieniami wykorzystania biomasy odpadowej, w tym rolniczej, wodnej i biodegradowalnych odpadów komunalnych na cele energetyczne, poprzez stosowanie technologii wykorzystujących biogaz i inne paliwa alternatywne, w szczególności w systemach kogeneracyjnych. Na konferencji wygłoszono referat na związany z realizacją projektu pt. *„Zgazowarka RDF w Nowym Dworze”*.

3. 27 - 29 czerwca 2016 r. - V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Forum Energetyków GRE 2016

Głównym celem Konferencji była wymiana doświadczeń przemysłu i nauki, prezentacja osiągnięć i tendencji rozwojowych energetyki, promocja ofert w zakresie nauki, eksploatacji ze szczególnym uwzględnieniem postępu w technologii budowy i eksploatacji systemów energetycznych. Na konferencji wygłoszono referat, a także przedstawiono plakat pt. *„Autotermiczny reaktor grawitacyjny zgazowania odpadów komunalnych”*.

4. 6-8 września 2016 r - XX jubileuszowa Konferencja „Kompleksowa gospodarka odpadami”

Konferencja skupiła się na wymianie informacji między przedstawicielami administracji publicznej, naukowcami oraz praktykami zajmującymi się problematyką gospodarowania odpadami komunalnymi. Podczas konferencji wygłoszono wspólny referat pt. *„Technologia zgazowania odpadów z ZZO Nowy Dwór. Szansa na innowacyjność polskiej gospodarki odpadami. Projekt a realizacja”*, Lucyna Perlicka, ZZO Nowy Dwór, dr hab. inż. Dariusz Kardaś, prof. IMP PAN, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk, Gdańsk

5. D.Kardaś, J.Kluska, Ł. Heda, P.Kazimierski, T. Turzyński. *Szare na złote, czyli zgazowanie odpadów*. Czasopismo BIOMASA nr 2(20) 2016.

Podsumowanie

W ramach projektu „Autotermiczny reaktor grawitacyjny zgazowania odpadów komunalnych” powstała pilotażowa instalacja zgazowania odpadów komunalnych. Jej obecna moc cieplna to 350 kW przy wydatku 70 kg/h.

Projekt rozpoczęto badaniami zgazowania odpadów w reaktorze Pomian w IMP PAN. Podczas tych badań testowano układ podawania paliwa oraz analizowano parametry wsadu i ich wpływ na pracę instalacji.

W drugim etapie przygotowano założenia i wykonano projekt instalacji paliwa odpadowego i oczyszczania syngazu. Na podstawie projektu powstała instalacja, którą wykonała firma Remex na zlecenie IMP PAN. Cała instalacja składa się z zasobnika na paliwo wtórne, podajnika ślimakowego, reaktora grawitacyjnego, systemu podawania powietrza, układu oczyszczania syngazu, komory spalania i komina. W kolejnym kroku przeprowadzono rozruch autotermicznej instalacji zgazowania. Rozruch ten trwał około miesiąca. W jego trakcie przebudowano zasobnik na paliwo oraz podajnik ślimakowy.

W trakcie wielowariantowych badań eksperymentalnych zgazowania odpadów komunalnych wykonano kilka wielogodzinnych prób zgazowania. Uzyskano ciągłą pracę reaktora i układu podawania paliwa do 6 godzin, dochodząc ostatecznie do operacyjności na poziomie 24 godzin. Syngaz wytwarzany w instalacji składał się z monotlenku węgla na poziomie ok. 20%, a ditlenku węgla 10 - 15%. Stosunkowo krótka strefa redukcji oraz długa strefa pirolizy sprzyjała dużej zawartości metanu (6-10%) oraz wodoru (do 20%)

Dzięki dużym rozmiarom geometrycznym i dużej wadze (ponad 2 tony), komora spalania zapewnia wysoką średnią temperaturę spalania syngazu, przez co cała instalacja spełnia wymagania w sprawie prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów – utrzymywanie gazów spalinowych w komorze spalania w temperaturze min. 850°C przez co najmniej 2 sekundy przy zawartości co najmniej 6% tlenu.

Pierwszym etapem optymalizacji układu transportu smół i pyłów były badania nad przeponowym układem ogrzewania reaktora i separacji cząstek. Na skutek szybkiego zapełnienia się przestrzeni separatora, wykonano przebudowę tego układu. Zmieniono konstrukcję reaktora usuwając podgrzew przeponowy oraz zamontowano cyklon zewnętrzny wraz ze zbiornikiem na cząstki stałe i pyły.

Istotnym aspektem realizacji projektu było również przeprowadzenie konsultacji społecznych z mieszkańcami okolicznych miejscowości oraz przygotowanie Karty Informacyjnej Przedsięwzięcia (Załącznik), Sporządzonej zgodnie z art. 3 ust. 1 pkt 5 ustawy z dnia 3 października 2008 r. o „udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko”. Pomimo przedstawień naukowych i technicznych argumentów świadczących o neutralnym wpływie technologii zgazowania odpadów na środowisko, zauważalne było zdystansowane podejście lokalnej społeczności do realizacji przedsięwzięcia. Pokazuje to, że kwestie konsultacji społecznych muszą być traktowane w przyszłości priorytetowo.