



Badania ruchowe prototypowego reaktora zgazowania biomasy

*Dariusz Wiśniewski**, *Janusz Piechocki**, *Andrzej Białowiec***,
*Jakub Pulka***, *Mariusz Siudak**, *Bogdan Jakubowski**,
*Bartosz Myślak**

**Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn*

***Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław*

1. Wstęp

Zgazowanie jest procesem termochemicznym podczas którego paliwo stałe jest konwertowane na paliwo gazowe w wyniku reakcji czynnika zgazowującego z paliwem stałym pod wpływem wysokiej temperatury. Czynnikiem zgazowującym stanowi głównie utleniacz, który jest podawany w sposób ciągły w ilości podstechiometrycznej $\lambda < 1$. W wyniku czego tylko część paliwa zostaje utleniona na potrzeby wytworzenia wysokiej temperatury w reaktorze. Ze względów ekonomicznych i prostoty rozwiązań techniczno-technologicznych, zwłaszcza w układach niewielkiej mocy, czynnikiem zgazowującym stanowi powietrze. Jednakże w bardziej rozbudowanych układach dużej mocy wykorzystuje się takie czynniki jak:

- powietrze wzbogacone w tlen lub czysty tlen,
- mieszanina pary wodnej i tlenu,
- mieszanina pary wodnej, tlenu i CO₂,
- mieszanina pary wodnej i powietrza.

Zastosowanie czynników innych niż powietrze znacząco wpływa na podniesienie kaloryczności uzyskiwanego gazu. Typowa wartość opałowa gazu dla generatorów, gdzie czynnikiem zgazowującym jest powie-

trza waha się około 5 MJ/Nm^3 w przypadku zgazowania czystym tlenem kaloryczność uzyskiwanego gazu wzrasta do około 12 MJ/Nm^3 . Najwyższą kaloryczność gazu otrzymuje się w przypadku mieszaniny tlenu i pary wodnej, kiedy to kaloryczność gazu dochodzić może nawet do 20 MJ/Nm^3 [3]. W wyniku działania wysokiej temperatury i czynnika zgazowującego na paliwo powstaje gaz zwany syngazem, który jest mieszaniną tlenku węgla i wodoru. W procesie pirolizy powstają również węglowodory ciekłe i smoliste oraz stałe jak koksik i żużel. Podczas procesu uwęglone frakcje stałe oraz ciekłe poddawane są klasycznym reakcjom zgazowania, w wyniku których powstają gazowe składniki palne. Stosując powietrze jako czynnik zgazowujący, gazowe substancje palne w otrzymanym gazie stanowią około 40% składu molowego, zaś pozostałe 60% to część niepalna – głównie dwutlenek węgla i azot. W typowych reaktorach zgazowania powietrzem skład gazu generatorowego przedstawia tab. 1.

Tabela 1. Typowy skład gazu z reaktora dolnociągowego [2]

Table 1. Typical composition of the gas from the gasifier [2]

Parametr gazu	Wartość
CO, % vol.	10–22
H ₂ , % vol.	12–20
CO ₂ , % vol.	11–13
CH ₄ , % vol.	1–5
N ₂ , % vol.	pozostałość
Wartość opałowa, MJ/Nm^3	4,0–5,6

Najczęściej stosowane rozwiązania technologiczne prowadzą proces zgazowania w temperaturach około 900°C przy ciśnieniu zbliżonym do atmosferycznego z wykorzystaniem powietrza jako czynnika zgazowującego. Realizacja procesu zgazowania jest możliwa dzięki zastosowaniu specjalnie zaprojektowanych rozwiązań techniczno-technologicznych zwanych gazogeneratorami. Gazogeneratory są skonstruowane w taki sposób aby umożliwić przebieg procesu konwersji paliwa stałego do paliwa gazowego w sposób ciągły. Ciągłość procesu zgazowania jest możliwa poprzez spełnienie kryteriów szczelności pracy gazogeneratora. Rozwiązania technologiczne gazogeneratorów można podzielić na trzy grupy [3]:

- reaktory ze złożem stałym,
- reaktory ze złożem fluidalnym,
- reaktory strumieniowe.

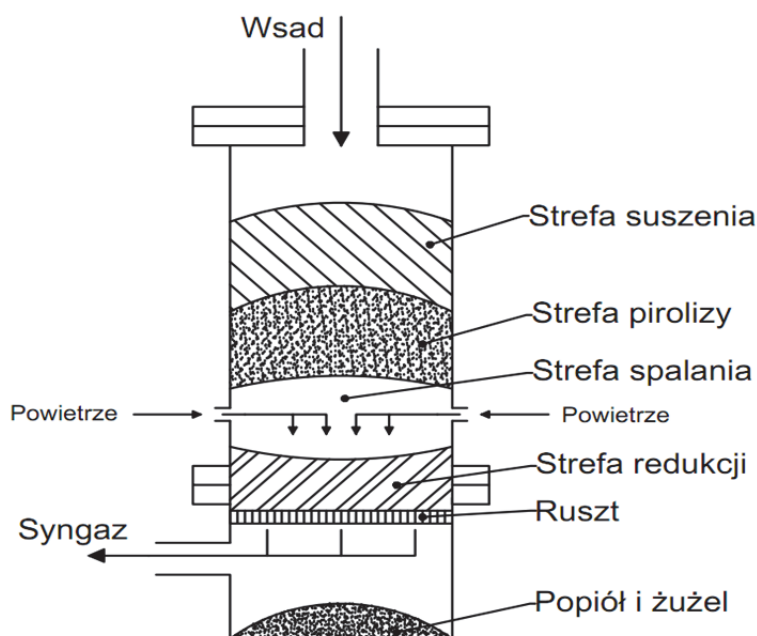
Reaktory ze złożem stałym ze względu na swoją prostotę są najczęściej wykorzystywanymi reaktorami zgazowania. W zależności od miejsca odbioru syngazu można je podzielić na reaktory dolnociągowe i górnociągowe lub też w zależności od wzajemnego kierunku przepływu masy i syngazu jako współprądowe lub przeciwaprądowe. Reaktory zgazowania ze złożem stałym charakteryzują się tym, że możliwe jest wyróżnienie czterech charakterystycznych stref reakcji. Pierwsza strefa o najniższej temperaturze to strefa suszenia, następnie poniżej strefa pirolizy, utleniania oraz strefa redukcji. W strefie suszenia usuwane są resztki wilgoci zawartej w wsadzie. W strefie pirolizy następuje termiczny rozkład wsadu i uwalniane są pod wpływem wysokiej temperatury części lotne i substancje smoliste. Strefa utleniania to strefa w której część paliwa jest utleniana w wyniku czego powstaje energia do prowadzenia procesu. W strefie redukcji zachodzą główne reakcje procesu zgazowania. Skład równowagowy oraz prędkość reakcji zależą od temperatury i ciśnienia w reaktorze [12]. Stosunek ilościowy powstających gazów jest zależny od temperatury prowadzonego procesu, czynnika zgazowującego i ciśnienia panującego w reaktorze.

W pracy prezentowane są wyniki badań nad prototypowym reaktorem dolnociągowym ze złożem stałym bez przewężenia konstrukcyjnego. Reaktor tego typu charakteryzuje się tym, że:

- wymaga niskiej zawartości wilgoci w biomase,
- gaz na wyjściu z reaktora ma wysoką temperaturę,
- wymagany jest równomierny sortyment wsadu w złożu,
- powstaje stosunkowo czysty gaz w porównaniu do innych technologii,
- nadaje się jedynie do wybranych rodzajów i sortymentu wsadu,
- wykazuje skłonności do szlakowania (należy dobrać temperaturę procesu do wsadu),
- konwersja wsadu jest powolna w porównaniu z innymi technologiami.

Reaktory dolnociągowe są najczęściej stosowanymi reaktorami w układach wytwarzania energii elektrycznej. Wynika to głównie z niskiej zawartości zanieczyszczeń w gazie.

Najwięcej generatorów tego typu występuje do mocy ok. 3 MW (1 MW mocy elektrycznej układu), co stanowi dolny zakres mocy rozwiązań technicznych dostępnych komercyjnie. Uproszczony schemat reaktora przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Reaktor dolnociągowy bez przewężenia konstrukcyjnego
Fig. 1. Open core downward gasification reactor

Opracowanie i wykonanie algorytmu sterowania reaktora zgazowania wymaga testów i prób ruchowych takiego urządzenia. Często przed wytworzeniem reaktora zgazowania prowadzone są prace nad modelowaniem procesów w nim zachodzących. Jednakże nie są to działania służące optymalizacji konstrukcji, a dotyczące samego procesu. W literaturze można spotkać wiele prac polegających na symulacji komputerowej procesu zgazowania w programach takich jak np. Aspen Plus [3]. Tworzone są skomplikowane modele kinetyczne [5,8] czy też równowagowe

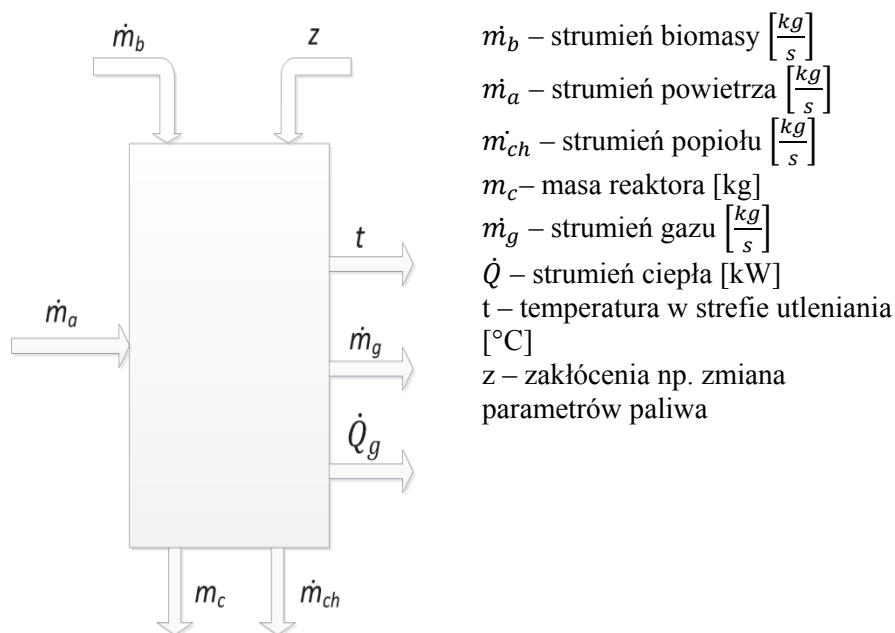
[1]. Istnieje również znaczna liczba publikacji dotyczących modelowania na potrzeby sterowania procesem gdzie model procesu na potrzeby sterowania uzyskuje się w wyniku badań identyfikacyjnych na modelu symulacyjnym procesu [11,7,10]. W pracy [9] model uzyskany jest na podstawie modelowania matematycznego reaktora doświadczalnego. W pracy [6] przedstawiono badania eksperymentalne na obiekcie rzeczywistym i na tej podstawie opracowano strategię sterowania z zastosowaniem algorytmu rozmytego.

Badania przedstawione w niniejszym artykule dotyczyły instalacji zgazowania, której prototyp w skali technicznej powstał dzięki finansowemu wsparciu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Strategicznego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych pt. "Zaawansowane Technologie Pozyskiwanie Energii" Zadanie Badawcze nr 4 „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”

2. Cel i zakres badań

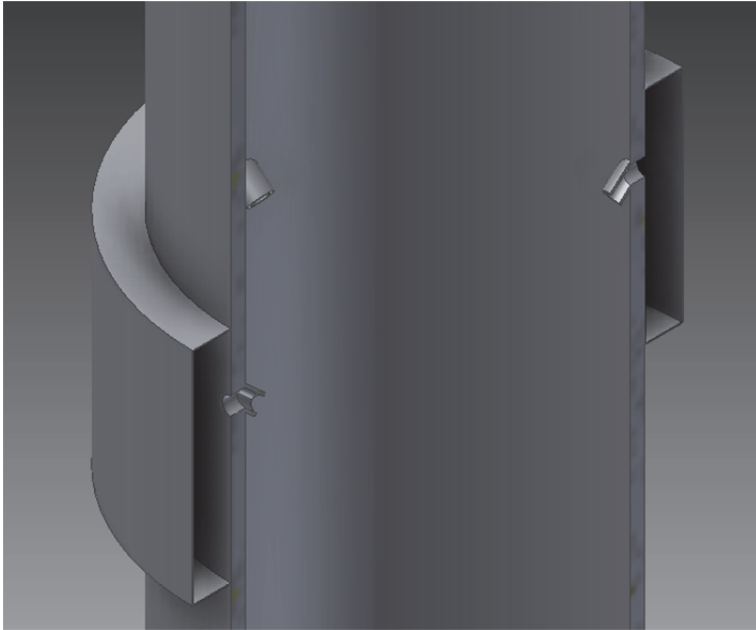
Celem prac badawczych na prototypowym reaktorze zgazowania było wyznaczenie charakterystyk ruchowych reaktora zgazowania dolnociągowego ze złożem stałym. Badania miały na celu uzyskanie wiedzy na temat możliwości automatyzacji procesu zgazowania biomasy w prototypowym reaktorze. Automatyzacja procesu wymaga przeprowadzenia serii badań, których pierwszym etapem jest wyznaczenie rodziny charakterystyk statycznych. Wyznaczenie tych charakterystyk jest podstawowym badaniem eksperymentalnym, polegającym na uzyskaniu odpowiednich wykresów, aby następnie na ich podstawie wyznaczyć parametry, które charakteryzują statyczne własności obiektu [4].

Na rysunku 2 przedstawiono schemat reaktora zgazowania jako wielowymiarowego obiektu badań. Przebiegiem procesu można manipulować poprzez zmianę strumienia podawanego czynnika zgazowującego i przez zmianę prędkości obrotowej rusztu – strumieniem popiołu opuszczającego reaktor. Badania skupiły się na analizie wpływu zmiennych wejściowych procesu na zmienne wyjściowe w warunkach ustalonych.



Rys. 2. Schemat reaktora zgazowania jako wielowymiarowego obiektu badań
Fig. 2. Gasification reactor construction as a multilevel object of research

Reaktor został zaprojektowany na moc cieplną około 200 kW co umożliwi przetworzenie około 40 kg/h paliwa o wartości opałowej około 18 MJ/kg. Badania tego typu są niezbędne dla każdego prototypowego urządzenia w celu określenia technicznie możliwych zakresów pracy urządzenia oraz opracowania na tej podstawie algorytmów sterowania procesem. Badania nad reaktorem zgazowania rozpoczęto od badań szczelności. Reaktor zgazowania jest urządzeniem przepływowym w którym zarówno czynnik zgazowujący jak i biomasa podawana jest w sposób ciągły poprzez specjalnie do tego celu zaprojektowany system dysz. Rysunek 3 przedstawia układ podawania czynnika zgazowującego poprzez system dysz rozmieszczonych po obwodzie reaktora co 90° . W celu zwiększenia entalpii czynnika zgazowującego i podniesienia sprawności całkowitej instalacji zgazowania zastosowano układ wstępnego podgrzewania czynnika zgazowującego. Układ ten został wykonany w postaci płaszczki okalającej strefę utleniania. Podgrzane w płaszczu powietrze trafia do czterech dysz umieszczonych co 90° po obwodzie reaktora.

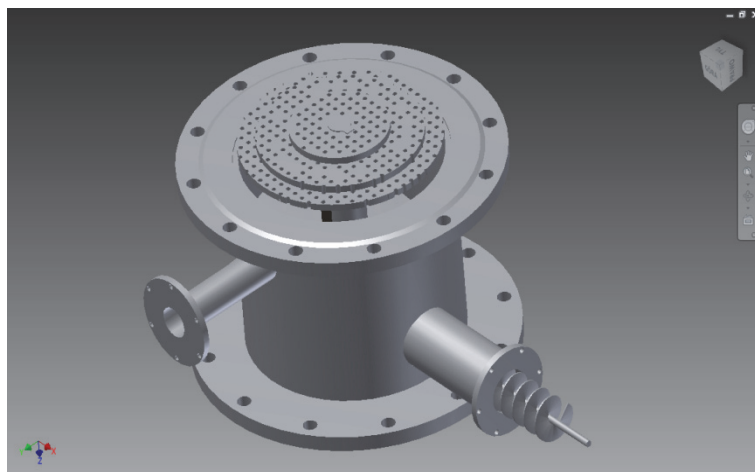


Rys. 3. Przekrój komory podgrzewania czynnika zgazowujący
Fig. 3. Cross-section of gasifying agent heating chamber

Badania strefy przepływowej podawania czynnika zgazowującego miały na celu wyznaczenie oporów przepływu czynnika przez złożę porowate i w ten sposób wyznaczenie możliwego zakresu zmian strumienia podawanego czynnika. Strumień podawanego czynnika determinuje maksymalne możliwe obciążenie cieplne reaktora.

Produkty przemian termochemicznych zachodzących w reaktorze: frakcja stała w postaci popiołu oraz frakcja lotna w postaci syngazu, muszą w sposób ciągły, z zapewnieniem szczelności opuszczać reaktor. Zgazowanie jest procesem, w którym nieszczelność reaktora może powodować dwa rodzaje zagrożenia. Pierwsze z nich to wydostanie się produktów reakcji na zewnątrz reaktora. Są to związki toksyczne i palne stanowiące zagrożenie dla osób przebywających w pobliżu reaktora. Drugim zagrożeniem jest zasanie powietrza do środka komory zgazowania i utworzenie w ten sposób mieszanki wybuchowej i w efekcie eksplozji reaktora. Biorąc pod uwagę powyższe zagrożenia konieczne było zapewnienie szczelności. Przeprowadzono próby ciśnieniowe w celu ustalenia potencjalnych nieszczelności.

Następnie przeprowadzono wstępne próby ruchowe mające na celu zdiagnozowanie możliwych usterek techniczno-technologicznych podczas pracy reaktora. Badany reaktor jest urządzeniem, w którym występują części ruchome pracujące w wysokiej temperaturze. Elementami ruchomymi badanego reaktora jest ruszt obrotowy oraz nagarniacze popiołu wraz z ślimakowym transporterem usuwającym popiół na zewnątrz reaktora. Ruszt jest typowym elementem występującym w reaktorach zgazowania czy też spalania biomasy. Jego zadaniem jest odprowadzanie popiołu ze strefy zgazowania lub spalania. Prędkość transportu masy przez ruszt zależy głównie od prędkości obrotowej, rodzaju materiału wsadowego, wysokości warstwy materiału nad rusztem, powierzchni rusztu. Dobór prędkości obrotowej rusztu przy ustalonych jego wymiarach konstrukcyjnych był jednym z głównych zadań badań wstępnych procesu zgazowania. Na rysunku 4 przedstawiono konstrukcję rusztu obrotowego wraz z układem usuwania popiołu.



Rys. 4. Konstrukcja dolnej części reaktora wraz z rusztem obrotowym

Fig. 4. The construction of bottom part of the reactor including the rotating grate

Badania ruchowe reaktora prowadzono na wsadzie modelowym pelecie drzewnym zapewniającym dużą jednorodność pod względem sortymentu oraz wilgotności ok. 15%. Zmiana wsadu wymaga korekcji charakterystyk ruchowych, a zwłaszcza wprowadzenia ograniczeń technologicznych np. ze względu na maksymalną temperaturę pracy reaktora, która najczęściej wynika z temperatury mięknięcia popiołu.

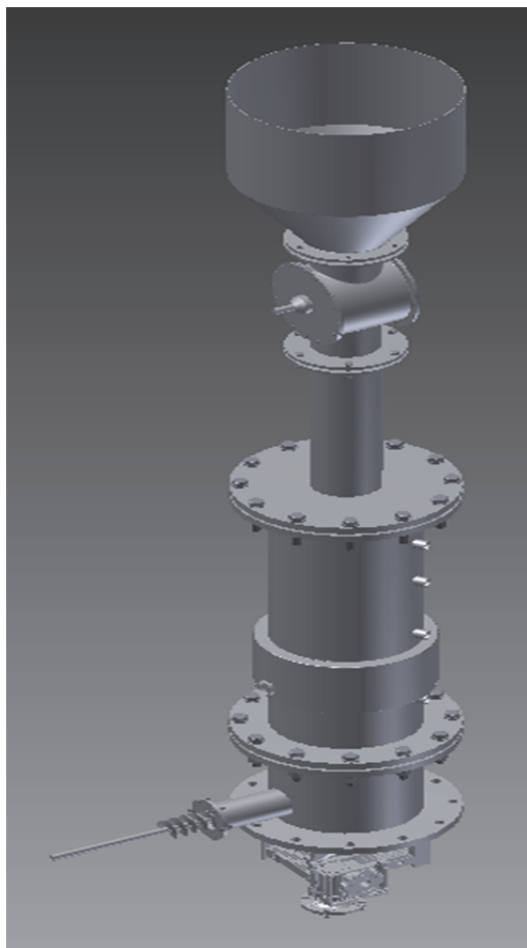
3. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze reaktora zgazowania zostało zaprojektowane tak, aby umożliwić wyznaczenie niezbędnych charakterystyk ruchowych reaktora. Na rysunku 5 przedstawiono konstrukcję reaktora zgazowania. Konstrukcja ta składa się z kilku zespołów, które można podzielić na:

- zespół podawania czynnika zgazowującego (rys. 3),
- zespół usuwania popiołu wraz z rusztem obrotowym (rys. 4),
- zespół dozowania biomasy (rys. 5) oraz
- komorę zgazowania (rys. 5).

Reaktor zgazowania został umieszczony na konstrukcji wsporczej podpartej na tensometrach. Dzięki zastosowaniu tensometrów, podczas pracy reaktora analizowana jest w czasie rzeczywistym zmiana jego masy – czyli szybkość konwersji materiału wsadowego. Proces dozowania biomasy odbywa się z wykorzystaniem dozownika celkowego. Wirnik dozownika obracany jest za pomocą silnika elektrycznego z motoreduktorem o wysokim przełożeniu. Układ usuwania popiołu jest oddzielony wewnątrz od komory zgazowania rusztem obrotowym i połączony z nim za pomocą połączenia kołnierzewego. Komora zgazowania została wykonana bez przewężenia konstrukcyjnego. Brak przewężenia w wykonanym prototypowym reaktorze miało na celu umożliwienie przetwarzanie materiałów o różnym ciężarze nasypowym. Przewężenie powoduje blokowanie grawitacyjnego przepływu materiałów o niskim ciężarze nasypowym. W celu osiągnięcia wysokiego stopnia konwersji substancji smolistych konstrukcję reaktora wydłużono w stosunku do średnicy tak aby zwiększyć czas przepływu gazu przez strefę gorącą. W zaprojektowanym reaktorze średnica wewnętrzna reaktora to $D = 300$ mm natomiast długość komory zgazowania $l = 1200$ mm.

Zadaniem układu podawania czynnika zgazowującego jest dostarczenie odpowiedniej podstechiometrycznej ilości powietrza. Układ podawania czynnika składa się z sprężarki bocznokanałowej, której wydajność sterowana jest za pomocą falownika, natomiast przepływ rzeczywisty kontrolowany za pomocą rotametru.



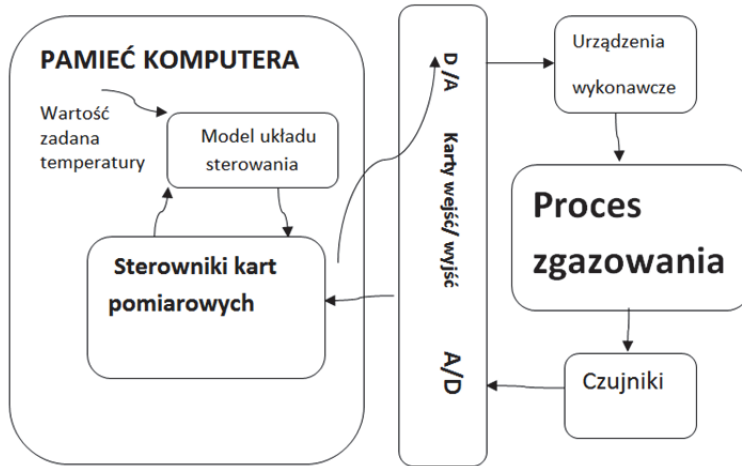
Rys. 5. Prototyp reaktora zgazowania

Fig. 5. The gasification reactor prototype

Reaktor zgazowania został wyposażony w system pomiarowy i oprogramowanie kontrolno-pomiarowe w technologii HIL. Umożliwia to szybką implementację różnych metod sterowania procesem zgazowania. Schemat funkcjonalny systemu przedstawia rysunek 6. System zapewnia pomiar następujących zmiennych procesowych:

- temperatury w czterech punktach komory zgazowania reaktora, odpowiednio w strefach: suszenia, pirolizy, utleniania i redukcji oraz temperatury syngazu na wylocie z reaktora,

- ciśnienia w komorze zgazowania,
- przepływu czynnika zgazowującego,
- masy wsadu w reaktorze,
- masy usuwanego popiołu.



Rys. 6. Schemat funkcjonalny układu sterowania i prototypowania w technologii HIL w zastosowaniu do procesu zgazowania [12]

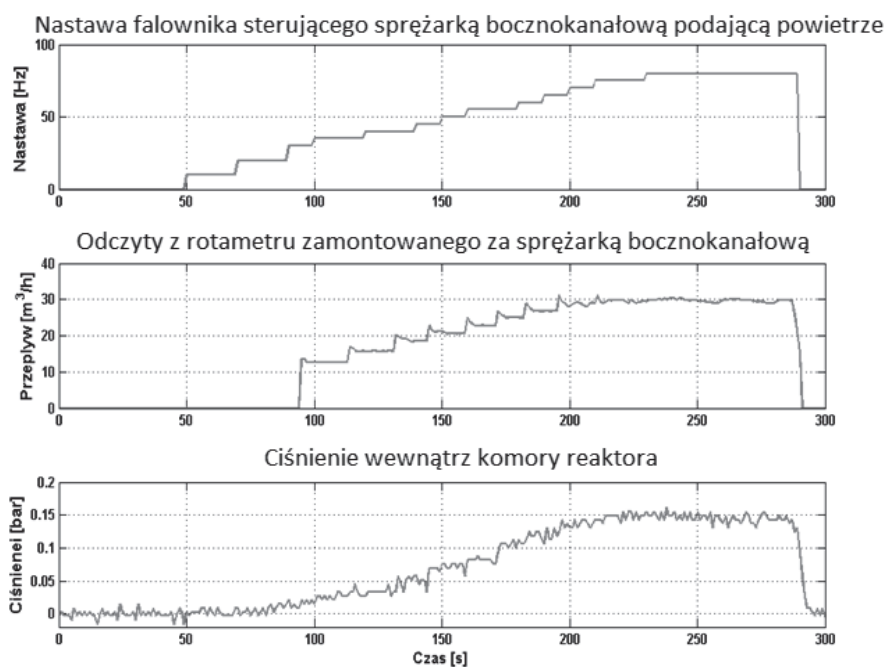
Fig. 6. Functional scheme of controlling, and prototyping system of HIL technology in application for gasification process [12]

Układ podawania czynnika zgazowującego jest układem z sprzężeniem zwrotnym umożliwiającym realizację stałowartościowego algorytmu sterowania przepływem. Masa wsadu w reaktorze mierzona jest za pomocą układu tensometrycznego z dokładnością do 100 g. Masa usuwanego popiołu mierzona jest z wykorzystaniem wagi platformowej z dokładnością do 1 g.

4. Wyniki badań

Zaprojektowany i wykonany reaktor został poddany badaniom ruchowym. Z punktu widzenia właściwości ruchowych reaktor zgazowania można zobrazować jako wielowymiarowy obiekt o kilku zmiennych wejściowych i wyjściowych i pewnym losowym niemierzalnym zakłóceniu zależnym od właściwości dozowanego paliwa.

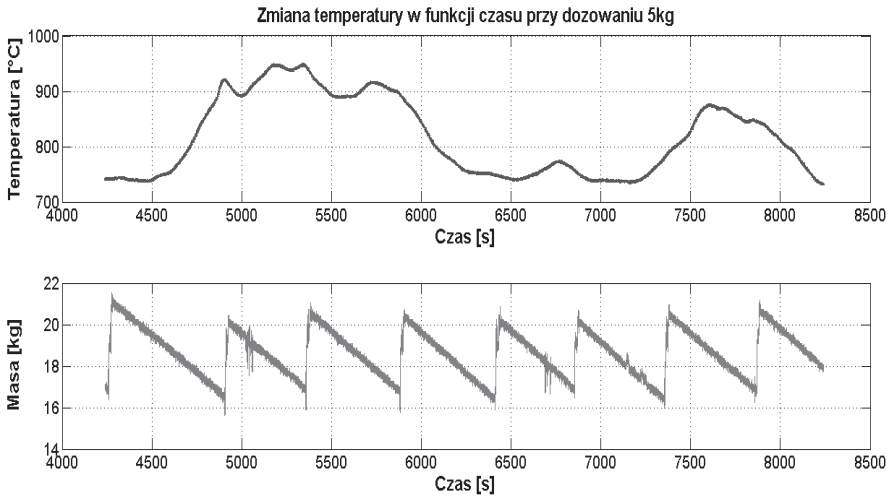
Badania nad zgazowaniem rozpoczęto od sprawdzenia szczelności części przepływowej reaktora. W tym celu uszczelniono wylot gazu generatorowego i zwiększając stopniowo przepływ badano do jakiej wartości nadciśnienia część przepływowa reaktora jest szczelna (rys. 7). Jest to niezwykle ważne badanie ze względu na niebezpieczeństwo wybuchu reaktora lub zatrucia osób pracujących przy reaktorze podczas pracy nieuszczelnej maszyny.



Rys. 7. Wyniki badań szczelności w części przepływowej reaktora zgazowania
Fig. 7. Results of tightness examination of flowing part of gasification reactor

Na rysunku 7 odpowiednio od góry – jako wymuszenie, przedstawiono liniowy wzrost nastawy falownika sterującego silnikiem sprężarki bocznokanałowej, poniżej przepływ zarejestrowany na rotametrze, a u dołu wzrost ciśnienia w reaktorze wywołany tłoczeniem powietrza do komory reaktora. W wyniku przeprowadzonego testu szczelności reaktora uzyskano szczelność konstrukcji dla ciśnienia 150 mbar, co jest w zupełności wystarczającą wartością dla reaktorów pracujących w warunkach ciśnienia atmosferycznego.

Następnym etapem badań było wyznaczenie właściwości ruchowych reaktora podczas pracy z różną częstotliwością dozowania wsadu. Podczas badań wstępnych zauważono silną zależność częstotliwości dozowanego wsadu na temperaturę w strefie utleniania (rys. 8). Podczas przeprowadzania eksperymentu, generowany syngaz był spalany bezpośrednio na wylocie z reaktora zgazowania.

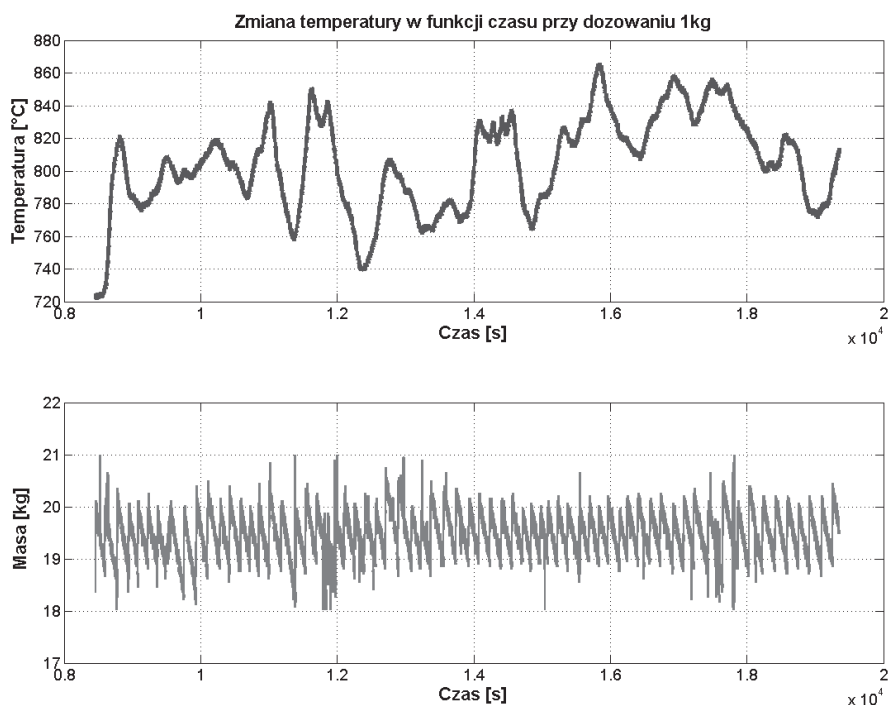


Rys. 8. Dozowanie wsadu z prędkością $\dot{m}_b = 0,01 \left[\frac{kg}{s} \right]$ w porcjach 5 kg

Fig. 8. Feedstock dosing with rate $\dot{m}_b = 0.01 \left[\frac{kg}{s} \right]$ in portions of 5 kg

Na rysunku 8 przedstawiono wyniki badań zgazowania biomasy modelowej przy podawaniu wsadu w porcjach 5kg z prędkością około $\dot{m}_b = 0,01 \text{ kg/s}$ przy zachowaniu całkowitej maksymalnej masy wsadu w reaktorze równej ok. 20 kg, a minimalnej ok. 15 kg. Próba została przeprowadzona w warunkach pracy ustalonej dla ustalonego stanu po zaniku procesów przejściowych związanych z rozruchem reaktora. Punkt pracy został ustalony dla stałego przepływu czynnika zgazowującego wynoszącego $\dot{m}_a = 0,0183 \text{ kg/s}$ i strumienia popiołu $\dot{m}_c = 0,0003 \text{ kg/s}$. Dolna część wykresu przedstawia szybkość konwersji dozowanej porcji biomasy, natomiast górna – temperaturę w strefie utleniania. Dla wyżej wymienionej porcji dozowania biomasy średnia temperatura w strefie utleniania wyniosła 817°C , a przedział zmian około 80°C . Czas trwania ekspery-

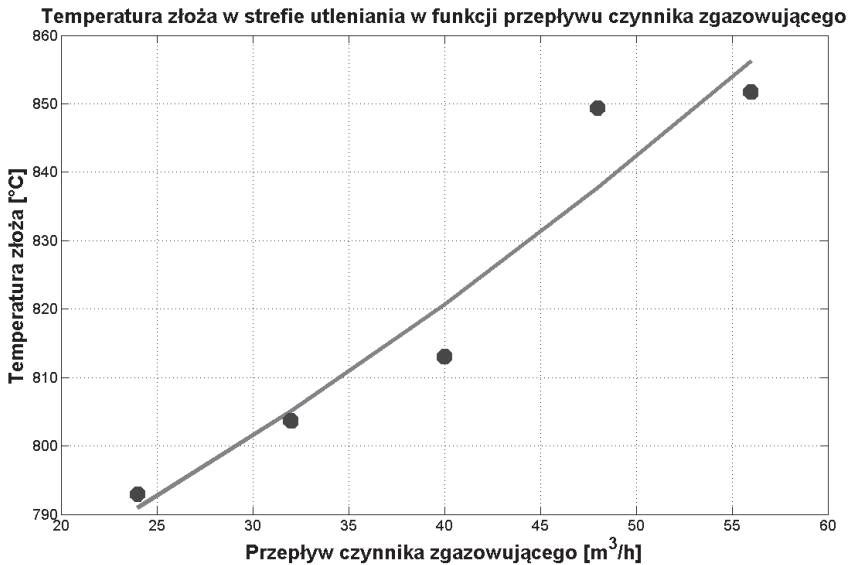
mentu, dla którego utrzymywano stałe warunki pracy reaktora to około 4500 s. W związku z tym, że temperatura w strefie utleniania jest najczęściej wykorzystywana jako zmienna procesowa regulowana, toteż wymaga się jej stabilnej wartości podczas eksploatacji. W celu ustabilizowania zmian temperatury w strefie utleniania zmniejszono wielkość porcji dozowanej z 5 kg do 1 kg przy zachowaniu stałego przepływu czynnika zgazowującego równego $\dot{m}_a = 0,0183 \text{ kg/s}$ i strumienia popiołu $\dot{m}_c = 0,0003 \text{ kg/s}$. Na rysunku 9 przedstawiono wyniki dozowania wsadu w porcjach 1 kg z wydajnością około $\dot{m}_b = 0,01 \text{ kg/s}$ przy zachowaniu całkowitej maksymalnej wartości wsadu w reaktorze ok. 20 kg, a minimalnej ok. 19 kg. Dla dozowania w porcjach 1 kg średnia temperatura w strefie utleniania wyniosła 804°C , a przedział zmian około 28°C . Czasu trwania eksperymentu dla którego utrzymywano stały punkt pracy reaktora to około 11000 s.



Rys. 9. Dozowanie wsadu z prędkością $\dot{m}_b = 0,01 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$ w porcjach 1 kg

Fig. 9. Feedstock dosing with rate $\dot{m}_b = 0.01 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$ in portions of 1 kg

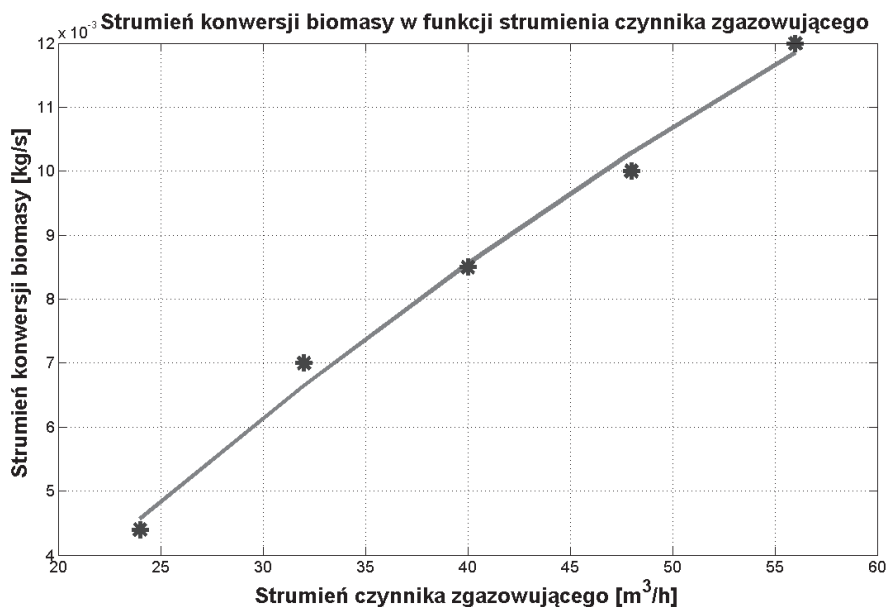
Następnym etapem badań było wyznaczenie charakterystyk statycznych temperatury w strefie utleniania w zależności od prędkości przepływu czynnika zgazowującego przy stałej wydajności usuwania popiołu $\dot{m}_c = const$. Na rysunku 10 przedstawiono zależność przepływu czynnika w funkcji temperatury złoża w strefie utleniania.



Rys. 10. Charakterystyka temperatury złoża w strefie utleniania w funkcji przepływu czynnika zgazowującego $t=f(\dot{m}_a)$ przy $\dot{m}_c = const$

Fig. 10. Bed temperature characteristics in oxidation zone in function of gasifier agent flow rate $t=f(\dot{m}_a)$ with $\dot{m}_c = const$

Przedstawiona na rysunku 10 charakterystyka statyczna dla ustalonych punktów pracy została zdjęta dla minimalnej i maksymalnej wydajności podawania czynnika zgazowującego. Minimalny przepływ wynika ze sprężu koniecznego do pokonania oporów przepływu przez złożo porowate tworzone przez wsad w reaktorze oraz oporów przepływu rotametru. Maksymalny przepływ natomiast jest ograniczony wydajnością sprężarki bocznokanałowej.

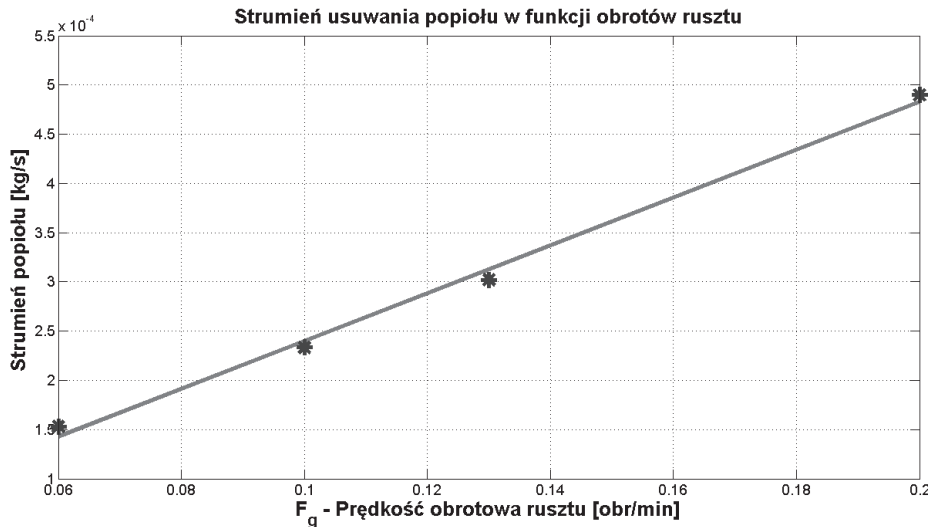


Rys. 11. Charakterystyka strumienia konwertowanej biomasy w funkcji strumienia czynnika zgazowującego $\dot{m}_b=f(\dot{m}_a)$ przy $\dot{m}_c = const$

Fig. 11. Converted biomass stream characteristics in function of gasifying agent flow rate $\dot{m}_b=f(\dot{m}_a)$ with $\dot{m}_c = const$

Przeprowadzono również badania konwersji biomasy do paliwa gazowego w zależności od strumienia czynnika zgazowującego. Rysunek 11 przedstawia charakterystykę statyczną wyznaczonej zależności dla prototypowego reaktora przy $\dot{m}_c = const$.

Kolejnym istotnym elementem badań było wyznaczenie charakterystyki usuwania popiołu w funkcji prędkości obrotowej rusztu. System sterowania rusztem polega na zadawaniu prędkości obrotowej poprzez falownik sterujący motoreduktorem napędzającym ruszt. Na rysunku 12 przedstawiono zależność strumienia usuwania popiołu w funkcji prędkości obrotowej rusztu.



Rys. 12. Charakterystyka prędkości obrotowej rusztu w funkcji prędkości usuwania popiołu $\dot{m}_c=f(F_g)$

Fig. 12. Rotation rate of grate characteristics in function of ash removal $\dot{m}_c=f(F_g)$

5. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania na prototypowym reaktorze zgazowania pozwoliły na opracowanie wstępnych charakterystyk ruchowych wielowymiarowego obiektu badawczego. Opis budowy reaktora został sprowadzony jedynie do tych jego elementów, które miały bezpośrednio wpływ na kształt charakterystyk przedstawionych w artykule. Wyznaczone charakterystyki są wynikiem przyjętej na etapie projektowania strategii badania obiektu, w której założono eksperymentalny charakter badań. Opracowanie charakterystyk statycznych wymagało stabilnych przebiegów temperatur w strefie utleniania, co było trudne do uzyskania. W związku z tym system podawania czynnika zgazowującego był wielokrotnie modyfikowany, aby fluktuacje temperatury w tej strefie były jak najmniejsze. Wyznaczone w wyniku badań charakterystyki statyczne prędkości konwersji biomasy $\dot{m}_b=f(\dot{m}_a)$ przy $\dot{m}_c = const$ oraz przepływu w funkcji temperatury w strefie utleniania $T=f(\dot{m}_a)$ przy $\dot{m}_c = const$ mają charakter liniowy dla badanego zakresu zmian przepływu. Informacja ta w znacznym stopniu ułatwi projektowanie układu sterowania bo-

wiem możliwe będzie zastosowanie układów regulacji liniowej. Reaktor zgazowania wymaga dalszych badań, rozszerzonych o wpływ prędkości strumienia usuwania popiołu ze strefy redukcji na temperaturę w strefie utleniania czy też strumień konwersji biomasy. Dalsze badania będą prowadzone przede wszystkim na materiałach trudnourazodliwych wraz z analizą składu syngazu i analizą składu popiołów. Prototypowy reaktor zgazowania został już przygotowany do analizy syngazu – został wyposażony w system poboru próby. System ten zostanie opisany wraz z wynikami analizy syngazu w kolejnej publikacji. Prowadzone będą również badania dynamiki w celu określenia dominujących stałych czasowych procesu.

Literatura

1. **Alfatini C., Wander P., Baretto R.:** *Prediction of the working parameters of a wood waste gasifier through an equilibrium model.* Energy Conversion and Management. 44, 2763–2777 (2003).
2. **Białowiec A., Wiśniewski D., Piechocki J.:** *Thermal gasification of waste biomass from agriculture production for energy purposes.* Sustainable Energy Solutions and Agriculture, CRC Press, March 2014.
3. **Chmielniak T.:** *Układy Energetyczne zintegrowane ze zgazowaniem biomasy.* Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008.
4. **Czemplik A.:** *Modele dynamiki układów fizycznych dla inżynierów.* WNT, Warszawa 2008.
5. **Di Blasi C.:** *Dynamic behaviour of stratified downdraft gasifier.* Chemical Engineering Science. 55, 2931–2944 (2000).
6. **Gandhi A., Kannadasan T., Suresh R.:** *Biomass Downdraft Gasifier Controller Using Intelligent Techniques.* Gasification for Practical Applications 2012.
7. **Nobakhti A., Wang H.:** *A self-adaptive Differential Evolution with application on the ALSTOM gasifier.* American Control Conference 2006.
8. **Sheth P., Amita U., Babu B.:** *Combined Transport and Kinetic Modeling of Downdraft Biomass Gasifier.* Proceedings of 2010 Annual Meeting of AIChE, Salt Lake City 2010.
9. **Thijs P.:** *Modeling for control of a biomass gasifier.* Technische Universiteit Eindhoven 2005.
10. **Wang X., Wu K., Lu J., Xiang W.:** *Nonlinear Identification of Alstom Gasifier Based on Wiener Model.* Sustainable Power Generation and Supply 2009.

11. **Wilson J.A., Chew M., Jones W.E.:** *State estimation-based control of coal gasifier*. IEE 2006.
12. **Wiśniewski D., Białowiec A., Piechocki J.:** *Zagospodarowanie energetyczne trudnoutylizowalnych odpadów pochodzenia rolniczego i zwierzęcego*. in press.

Operational Studies of Prototype Biomass Gasification Reactor

Abstract

Gasification reactors are devices for thermochemical biomass treatment. In such reactors, complex of mass, and heat exchange, interphase, and chemical processes occur. Designing a mathematical models of processes occurring in such devices requires expensive research, and leads not always to satisfying results. Moreover, some authors executed complex computational simulations of gasifying process aiming to approximate calculation of: composition of generated syngas, temperatures level in the reactor, and even simulations of two-phase flow of gas enriched in pollutants. In given article the initial research of prototype downward gasification reactor feed by model feedstock – wood pellets, has been presented. The construction of the reactor has been described. Particular parts of the reactor has been shown, and the concept of reactor controlling has been given. The gasification reactor tightness has been examined by testing the generated pressure in gasification chamber. Executed research aimed on testing the correctness of particular elements of the reactor work, and determination of motion characteristic for wide range of technological parameters. Static characteristics of bed temperature in the oxidation zone, and the converted biomass stream in function of gasifying agent have been determined. Additionally, the characteristics of removed carbonizate stream in function of grate rotation rate has been determined. In the further experiments the dynamic characteristics of gasification process in the prototype reactor will be tested. The composition of syngas generated from hardly treatable waste materials will be measured. Determined characteristics will be used for further experiments on designing of process control algorithms.

Słowa kluczowe:

Zgazowanie termiczne, syngaz, biomasa, charakterystyki pracy, dolnociągowy reaktor

Keywords:

Thermal gasification, syngas, biomass, operation characteristics, downward reactor