

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Primusa:

Analiza możliwości wdrożenia zintegrowanego modelu gospodarki odpadami w warunkach polskich w oparciu o technologię zgazowania.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pt. „Analiza możliwości wdrożenia zintegrowanego modelu gospodarki odpadami w warunkach polskich w oparciu o technologię zgazowania” została opracowana przez Pana mgr. Inż. Arkadiusza Primusa w Głównym Instytucie Górnictwa - Państwowym Instytucie Badawczym w dyscyplinie naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Promotorem rozprawy jest Prof. dr hab. inż. Czesława Rosik-Dulewska, Członek Rzeczywisty PAN.

A. OCENA TEMATYKI PODJĘTYCH BADAŃ

Brak możliwości składowania odpadów palnych sprawia, że problem ich efektywnego wykorzystania wymaga pilnego rozwiązania. Z jednej strony stanowią one cenne paliwo i surowiec, które mogą zostać wykorzystane do efektywnej produkcji energii i substancji chemicznych, z drugiej ze względu na niejednorodne i zmienne właściwości ich stosowanie powoduje trudności techniczne. Wykorzystanie paliw alternatywnych, w tym typu odpadowego przyczynia się również do obniżenia emisji CO₂ do atmosfery, co jest szczególnie ważne dla naszego kraju. Problem wykorzystania odpadów do produkcji energii czy jako surowca do produkcji substancji chemicznych stanowi również niezwykle ważne zagadnienie z punktu widzenia rozwoju tzw. gospodarki o obiegu zamkniętym, która zakłada możliwie maksymalne wykorzystanie surowców wtórnych i minimalizowanie ilości odpadów poddawanych składowaniu. Szczególnie istotne i uważane jako kierunek rozwojowy jest zastosowanie do efektywnego zagospodarowania odpadów technologii zgazowania. Może ona zostać wykorzystana zarówno w układach odzysku energii z odpadów, jak również, przy odpowiedniej realizacji procesu, w procesie termochemicznego ich recyklingu.

W tym kontekście uważam za celowe podjęcie przez Doktoranta badań w przedmiotowej tematyce. Podjęta tematyka badań jest interesująca zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak również praktycznego.

B. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRACY

Recenzowana praca doktorska liczy 197 stron (wraz z załącznikami) i jest podzielona na 7 głównych rozdziałów, spis tablic, spis rysunków oraz spis literatury i załączników.

W rozdziale pierwszym stanowiącym wprowadzenie do pracy Autor porusza w sposób ogólny, ale wystarczający zagadnienia dotyczące ogólnie rozumianych systemów gospodarki odpadami, podkreślając kluczową rolę i konieczność dalszego rozwoju metod energetycznego wykorzystania odpadów. Szczególna uwaga zwrócona jest na układy zgazowania stanowiące

alternatywę dla instalacji spalania odpadów i których zastosowanie pozwala na efektywną procesowo i środowiskowo produkcję ciepła i energii elektrycznej w skojarzeniu. Nie do końca można zgodzić się ze stwierdzeniem, że technologie zgazowania odpadów znajdują się w początkowej fazie rozwoju, istnieją bowiem na świecie rozwiązania oferowane komercyjnie. Również w kraju można znaleźć przykłady rozwiązań, które funkcjonowały komercyjnie lub jako instalacje pilotowe czy demonstracyjne. Przykładem może tu być gazogenerator 'EKOD' czy rozwiązanie reaktora zgazowania biomasy i odpadów opracowane w Instytucie Paliw i Energii w Zabrze. Zgadzam się jednak z Autorem, że w przypadku rozwiązań krajowych nie znalazły one powszechnego zastosowania.

Rozdział 2 to cel i zakres pracy. Celem głównym pracy jest: „Ocena możliwości wdrożenia technologii zgazowania frakcji paliwowych odpadów komunalnych i osadów ściekowych w celu efektywnej produkcji energii w integracji technicznej i organizacyjnej z funkcjonującym modelem gospodarki odpadami opartym o mechaniczno-biologiczne przetwarzanie (MBP) odpadów komunalnych”. Autor definiuje również cele pośrednie pracy, są nimi:

1. Wskazanie optymalnej konfiguracji technologicznej instalacji zgazowania odpadów na potrzeby integracji z instalacjami komunalnymi działającymi w oparciu o technologię mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych.
2. Uporządkowanie, zdefiniowanie i propozycja środowiskowych ram prawnych dla wdrożeń komercyjnych instalacji zgazowania odpadów.
3. Propozycja określenia optymalnych rozwiązań techniczno-środowiskowych dla technologii zgazowania odpadów w skali odpowiadającej integracji z instalacjami komunalnymi.

Rozdział ten zawiera jeszcze przedstawienie zakresu tematycznego pracy oraz jej tezę: „Technologia zgazowania odpadów w nowych warunkach prawnych dyrektywy IED, warunkach technicznych oraz rynkowych MBP w Polsce może stanowić realną (technicznie i ekonomicznie) alternatywę dla budowy zintegrowanych systemów gospodarki odpadami w ramach Instalacji Komunalnych”. W opinii Recenzenta zarówno cele pracy jak i teza pracy są sformułowane poprawnie.

Rozdział 3 stanowi przegląd literaturowy w zakresie tematycznym pracy i obejmuje zarówno zagadnienia prawne dotyczące gospodarki odpadami, jak i techniczne związane z metodami ich termicznego przetwarzania. W zakresie zagadnień prawnych Autor przybliży politykę UE i Polski w obszarze gospodarki odpadami, przywołując obowiązujące Dyrektywy UE, oraz zgodne z nimi krajowe ustawy i przepisy. Szczególną uwagę skupia na zagadnieniach mających istotny wpływ na rozwój metod termicznego wykorzystania odpadów, w tym szczególnie ich zgazowania. Dotyczą one m.in. możliwości kwalifikowania energii wytworzonej z odpadów jako energii odnawialnej czy warunkowego zwolnienie z wymagań technicznych termicznego przekształcania odpadów dla technologii zgazowania lub pirolizy odpadów (które są obowiązkowe dla procesów spalania odpadów). W tej części przeglądu Doktorant definiuje również pod względem prawnym paliwa z odpadów oraz przytacza dane statystyczne na temat aktualnej sytuacji w Polsce związanej z zagospodarowaniem odpadów komunalnych i udziałem ich w produkcji energii odnawialnej. Przeprowadzona analiza zagadnień prawnych wskazuje na dużą wiedzę Doktoranta, w tym zakresie. W kolejnych podrozdziałach przeglądu literaturowego Autor dokonuje ogólnej charakterystyki technologii termicznego przetwarzania odpadów komunalnych, ze szczególnym uwzględnieniem pirolizy i zgazowania, porusza zagadnienia związane z oczyszczaniem wytworzonego gazu syntezowego, omawia wariantowe konfiguracje wytwórcze zintegrowane z procesem zgazowania, przedstawia zagadnienia związane z funkcjonującym modelem gospodarki odpadami opartym na MBP oraz

porusza istotny temat związany z składem morfologicznym wytwarzanych odpadów komunalnych w Polsce, w tym omawia stosowane metody dla jego identyfikacji. W zakresie technologii zgazowania Doktorant dokonuje krótkiej charakterystyki procesu, przywołując zalety technologii oraz przedstawia w sposób ogólny rozwiązania techniczne reaktorów zgazowania tj. reaktory ze złożem stałym, fluidalnym i dyspersyjnym. W tej części przeglądu brakuje informacji na temat funkcjonujących na świecie rozwiązań komercyjnych, do których należą m.in. technologie:

- Alter NRG Westinghouse Plasma Corporation
- CHO Power
- Enerkem
- JFE i inne

W przeglądzie brakuje również omówienia doświadczeń krajowych (patrz również Wprowadzenie do pracy). Pewne niejasności budzą sformułowania: „proces zgazowania jest bardziej odpowiedni dla instalacji o mniejszych rozmiarach”, czy wprowadzenie niezdefiniowanego uprzednio terminu: „efektywność procesu zgazowania”, która to wielkość szacowana jest przez Autora na poziomie 85%. Co do zasady, jeśli definiujemy sprawność procesu zgazowania to korzystamy z pojęcia tzw. zimnej sprawności zgazowania, która zdefiniowana jest jako stosunek strumienia entalpi chemicznej wytworzonego gazu do strumienia entalpi chemicznej doprowadzonego paliwa.

Przegląd literaturowy zakończony jest wnioskami i podsumowaniem nie dotyczącym jednak zagadnień technologicznych.

Rozdział 4 jest pierwszym rozdziałem części badawczej pracy i dotyczy ważnego zagadnienia tj. badania morfologii i składu chemicznego odpadów. Jest to niezwykle istotne z punktu widzenia możliwości zagospodarowania odpadów w procesie ich termicznego przetwarzania, w tym zgazowania. Badane próby pochodziły z wybranych 5 obiektów (sortowni odpadów) zlokalizowanych na terenie województwa śląskiego i opolskiego, w których odpady pochodziły z trzech typów środowisk tj. zabudowy mieszanej, zabudowy wielorodzinnej i jednorodzinnej. Odpady do badań pobierano w miesiącach charakterystycznych dla każdej z czterech pór roku, w dwóch kampaniach 2014 i 2023 roku.

Zakres przeprowadzonych badań obejmował:

1. Badanie składu morfologicznego odpadów poprzez:
 - a. Analizę charakterystyki zmieszanych odpadów komunalnych ogółem,
 - b. Analizę charakterystyki frakcji nadsitowej odpadów komunalnych (preRDF) na podstawie wykonanych badań własnych,
 - c. Porównanie wyników badań własnych w aspekcie zmienności sezonowej oraz rodzaju zabudowy.
2. Przygotowanie próbek do analiz fizykochemicznych.
3. Badania fizykochemiczne oraz ich analizę.

Analizy fizykochemiczne, oprócz standardowych oznaczeń wchodzących w skład analizy technicznej i elementarnej objęły również identyfikację zawartości metali ciężkich i ważne z punktu widzenia procesu zgazowania oznaczenie temperatur charakterystycznych popiołu. Niezwykle istotnym elementem tej części pracy było opracowanie metodyki badań składu morfologicznego frakcji nadsitowej (preRDF) oraz poboru próbek odpadów do badań analitycznych. Wyjaśnienia wymaga na czym zaproponowana metodyka różni się od dotąd stosowanych (np. w stosunku do metodyki stosowanej przez Uniwersytet Zielonogórski – badania w ramach projektu IOS-PIB). W opisie metodyki badań składu morfologicznego

nadużywano sformułowania frakcja, co nieco utrudnia zrozumienie zaproponowanej metody. Dla przykładu czytamy:

*„Zbelowane lub w luźnej formie odpady **frakcji** nadsitowej (Rysunek 4-12.) wyładowano na czystą, utwardzoną powierzchnię, a następnie dokładnie przemieszano. Następnie, za pomocą metody kopertowej masę odpadów podzielono na 5 masowo jednakowych **frakcji** (Rysunek 4-13) i dalej „Następnie z każdej wydzielonej **frakcji** wyodrębnia się próbę odpadów przeznaczoną do badania. Pobrane próbki odpadów posortowano ręcznie na następujące **frakcje** materiałowe ...”* Nie przybliżono również na czym polega wyodrębnianie odpadów z frakcji. W opinii Recenzenta opis metody wymaga przerehabilitacji przed przyszłymi publikacjami wyników tej części badań. Uzyskane wyniki badań poddane zostały szczegółowej analizie, która może służyć do określenia tendencji zmian składu morfologicznego i właściwości fizykochemicznych odpadów w zależności od źródła (środowiska) czy pory roku. Opis uzyskanych wyników wymaga w kilku miejscach dodatkowego wyjaśnienia. Więcej uwag do tej części pracy zamieszczono w dalszej części recenzji.

Wyniki tej części badań dostarczyły niezwykle ważnych informacji z punktu widzenia przyszłej implementacji technologii zgazowania odpadów. Dotyczą one m.in. stabilności kaloryczności badanych odpadów.

W rozdziale 5 przedstawiono i szczegółowo omówiono koncepcję układu termicznego przetwarzania odpadów zintegrowanego z zgazowaniem odpadów, przedstawiając propozycje modelu technologiczno-prawnego, konfigurację procesową układu, wraz z bilansem masowym i energetycznym oraz uwarunkowania środowiskowe związane z funkcjonowaniem układu. W pierwszej części rozdziału Autor zaproponował wytyczne ramowe jakie musi spełniać układ produkcji energii zintegrowany z zgazowaniem odpadów komunalnych. Przyjęte założenia uwzględniają zagadnienia prawno-procesowe i dotyczą wymaganej sprawności energetycznej procesu, standardów emisyjnych, potrzeb stosowania monitoringu parametrów wytwarzanego gazu i emitowanych do środowiska zanieczyszczeń oraz gospodarki odpadami. W kolejnych częściach rozdziału zaproponowano schemat procesowy układu zgazowania odpadów obejmujący m.in. węzły standaryzacji odpadów, zgazowania, oczyszczania gazu, spalania gazu procesowego i produkcji energii oraz układy dodatkowe - wspomagające działanie całego systemu. Jako reaktor zgazowania zastosowano konstrukcję opracowaną w ramach projektu LIFEco-generation.pl, która jest reaktorem ze złożem stałym współprądowym. Typowo w takich układach paliwo dozowane jest w górnej części reaktora i poruszając się w dół urządzenia przechodzi strefy suszenia, pirolizy, utleniania i zgazowania. Takie rozwiązanie wśród reaktorów małej mocy cechuje się relatywnie niską zawartością substancji smolistych w wytwarzanym gazie, co jest niewątpliwą zaletą szczególnie w przypadku integracji reaktora z silnikiem gazowym. Niektóre przytoczone parametry reaktora wymagają dodatkowych wyjaśnień zwłaszcza w kontekście analizowanej w następnych rozdziałach pracy wykonalności technicznej układu. Są to bardzo wysoka sprawność energetyczna wynosząca 85-90% oraz niskie wymagania dotyczące kaloryczności paliwa. Wartości tych parametrów wydają się nieco zbyt optymistyczne. Kolejnym kluczowym elementem układu jest układ oczyszczania gazu. Zaproponowany układ pozwala na realizację kompleksowego oczyszczania gazu i składa się m.in. z reaktora krakingu katalitycznego smół układów skruberów alkalicznych, odpylaczy (cyklon, filtry mechaniczne) i adsorbera z węglem aktywnym. Koncepcja układu oczyszczania gazu procesowego zwraca szczególną uwagę na separację substancji smolistych z wytwarzanego gazu, co jest największym wyzwaniem w tego typu rozwiązaniach. Koncepcja układu termicznego przetwarzania odpadów wykorzystująca proces zgazowania ma charakter kompleksowy obejmując również układy pomocnicze, w tym

instalacje dopalania gazu niespełniającego wymogów jakościowych silnika gazowego. Bilans masowy i energetyczny układu opracowano dla strumienia odpadów wynoszącego 2000 kg/h. Doprowadzony strumień odpadów składa się z mieszaniny paliwa preRDF i osadu ściekowego w ilościach odpowiednio 1600 i 400 kg/h. Bilanse masowy i energetyczny przedstawione zostały w sposób graficzny i tabelaryczny. W wyniku realizacji procesu wytwarzany jest gaz surowy w ilości 3495 Nm³/h i oczyszczony w ilości 3848 Nm³/h. Z uzyskanych rezultatów (Rys. 5.4) wynika, że sprawność zimna zgazowania dla gazu surowego i oczyszczonego wynosi odpowiednio 62 i 61 %, a po uwzględnieniu entalpii chemicznej strumienia oleju termalnego 73%. W tej części pracy Autor przedstawił również charakterystykę (tabela 5.20, Rys. 5.4) głównych strumieni procesowych w zakresie wartości opałowej, natężenia przepływu i składu (w przypadku strumieni gazowych) oraz podstawowe parametry całego układu w postaci mocy elektrycznej, cieplnej, a także stopnia wykorzystania energii chemicznej paliwa. Zaprezentowane dane dostarczają niezbędnej wiedzy do oceny funkcjonowania układu pod względem procesowym, a uzyskane rezultaty obliczeń modelowania nie budzą zastrzeżeń, brakuje jednak choćby krótkiej informacji na temat sposobu ich uzyskania, tj. metodyki obliczeniowej, przyjętych założeń itp. Ponadto pewne używane stwierdzenia wprowadzają zamieszanie. Z jednej strony Autor stwierdza, że uzyskane wyniki są rezultatem obliczeń „Dla obliczeń składu syngazu przyjęto następujące założenia ...” z drugiej stwierdza „Jako bazowy przyjęto średni skład modelowego syngazu ze zgazowania nadawy przedstawiony poniżej” (chodzi o tabelę 5.19, w której przedstawiono skład gazu publikowany w literaturze). W dalszej części rozdziału Autor określa efektywność energetyczną instalacji zgazowania odpadów wyznaczając:

- efektywność energetyczną przetwarzania odpadów,
- efektywność energetyczną odzysku energii chemicznej zawartej w odpadach,
- efektywność produkcji energii odnawialnej.

Wydaje się, że poprawniej byłoby nazywać powyższe wielkości wskaźnikami (np. wskaźnik efektywności energetycznej), co zresztą Autor zauważa i stosuje. Dla analizowanego przypadku wymienione powyżej wielkości wyniosły odpowiednio 83, 56% i 45%, przy czym wskaźnik „efektywność produkcji energii odnawialnej” wyraża udział „ilość energii elektrycznej lub ciepła wytworzonych z odnawialnych źródeł energii”. Wielkość „efektywność energetyczna odzysku energii chemicznej zawartej w odpadach” to natomiast sprawność całkowita netto układu. Omawiając uwarunkowania środowiskowe technologii Doktorant dokonuje teoretycznej analizy w zakresie możliwych zanieczyszczeń gazowych, stałych i ciekłych towarzyszących procesowi. Wydaje się, że należałoby tu zwrócić większą uwagę na obecność w odpadach wyższych węglowodorów (w postaci ciekłej). Problem usuwania tzw. substancji smolistych stanowi duże wyzwanie w przypadku technologii zgazowania paliw stałych w złożu stałym, zwłaszcza w małej skali.

Rozdział 6 stanowi analizę możliwości wdrożenia technologii zgazowania przy uwzględnieniu krajowego modelu gospodarki odpadami opartego o MBP (mechaniczno-biologiczne przetwarzanie odpadów komunalnych). Pierwsza część rozdziału poświęcona jest zagadnieniom integracji układu zgazowania odpadów z powszechnie funkcjonującymi w kraju komunalnymi układami przetwarzania odpadów. Pod uwagę brane są zagadnienia środowiskowe, procesowe i ekonomiczne. Jako kluczowe wydaje się: minimalizacja strumieni odpadowych opuszczających układ zintegrowany (w tym przeznaczonych do składowania), możliwość zagospodarowania w układzie wytwarzanej energii użytecznej (energia elektryczna, i ciepło) oraz spełnienie tzw. „zasady bliskości”.

Możliwości wdrożenia technologii zgazowania odpadów w polskim modelu gospodarki odpadami Doktorant przeanalizował w oparciu o kryteria techniczne, w tym m.in. efektywność energetyczną, kryteria środowiskowe oraz ekonomiczne. W ocenie Recenzenta analiza została wykonana poprawnie, nie mniej wydaje się, że kluczowym będzie wykonalność techniczna samego układu zgazowania spełniającego zakładane parametry realizacji procesu. Do głównych wyzwań o charakterze technicznym zaliczyć należy: uzyskanie wymaganej wysokiej sprawności procesowej reaktora zgazowania, jego oczekiwanej osiągalności rocznej oraz efektywności układu oczyszczania gazu zwłaszcza w zakresie usuwania ze strumienia gazu substancji smolistych. W zakresie kryterium ekonomicznego wykonana została bardzo interesująca analiza ekonomiczna wskazująca na wysoką opłacalność inwestycji. Uzyskane wskaźniki IRR i DPB (dla udziału kapitału własnego na poziomie 25%) wyniosły odpowiednio 22,7% i 5 lat. Pewną wątpliwość budzi niska rezerwa inwestycyjna na poziomie 5%. Dla inwestycji dotyczących układów nieposiadających referencji przemysłowych rezerwa ta może dochodzić nawet do 20 i więcej procent. W tym kontekście szkoda, że analiza wrażliwości nie dotyczyła zmienności kosztów inwestycyjnych, co dało by dodatkowy pogląd na atrakcyjność ekonomiczną układu.

Prace kończy rozbudowane i wyczerpujące podsumowanie i wnioski, które zostały podzielone na wnioski merytoryczne i praktyczne (**rozdz. 7**)

W bibliografii zawierającej 129 pozycji literaturowych znajdują się 4 prace autorstwa Doktoranta. Bibliografia zawiera również spis aktów prawnych (36), na które Doktorant powołuje się w pracy.

C. OCENA ROZPRAWY

Uwagi ogólne

(Część uwag ogólnych zostało zasygnalizowanych w części B recenzji. Najistotniejsze z nich zostały powtórzone w części recenzji dotyczącej uwag szczegółowych)

Recenzowana praca zawiera zadania o charakterze naukowym i praktycznym, w zakresie energetyki i inżynierii środowiska, których rozwiązanie dostarcza wielu ważnych informacji o możliwości efektywnej utylizacji paliw odpadowych przy wykorzystaniu procesu ich zgazowania. Oprócz zagadnień technicznych w pracy poruszane są istotne zagadnienia o charakterze organizacyjno-prawnym. Poruszane zagadnienia dotyczą bardzo szerokiego obszaru wiedzy, od zagadnień związanych z polityką UE i Polski w zakresie gospodarki odpadami, poprzez uwarunkowania prawne, środowiskowe i procesowe związane z wdrażaniem instalacji termicznego przetwarzania odpadów, w tym szczególnie ich zgazowania, aż po szczegółowe zagadnienia techniczne związane m.in. z badaniem paliw odpadowych, czy wreszcie z samym procesem zgazowania i jego integracją z układami oczyszczania gazu i generacji energii. Autor wykazał się wiedzą i umiejętnościami w zakresie m.in. znajomości i krytycznej analizy przepisów i aktów prawnych związanych z przedmiotem pracy, zagadnień technicznych związanych z ogólnie rozumianą konwersją paliw stałych, w tym odpadowych, czy wreszcie w zakresie obliczeń i symulacji procesów. Analiza literatury światowej i krajowej, ale również obowiązujące akty prawne, czy wreszcie aktualna sytuacja związana z gospodarką odpadami w UE i w Polsce, w pełni świadczą o wadze podjętej tematyki i celowości podjętych badań.

Układ pracy jest uporządkowany, a strona edycyjna nie budzi zastrzeżeń, choć w tym względzie zdarzają się pewne niedociągnięcia: odwołania w tekście do nieistniejących tabel (np. str. 8 tabela 4-19), czy literatury nie ujętej w spisie bibliograficznym (str. 115; Babiński i in. 2012).

Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do dalszych prac badawczych i koncepcyjnych w rozpatrywanej tematyce, a sama praca może stanowić bogate i użyteczne źródło wiedzy dla pracowników naukowych i inżynierów zainteresowanych problematyką termicznej utylizacji odpadów, a w szczególności ich zgazowania.

Do najważniejszych wyników o charakterze poznawczym rozprawy zaliczam:

1. Opracowanie metodyki badań składu morfologicznego frakcji nadsitowej (preRDF) w tym szczególnie poboru próbek odpadów do badań analitycznych
2. Uzyskane wyniki, szczególnie dotyczące wartości i stabilności parametrów energetycznych odpadów oraz udziału frakcji biodegradowalnej
3. Opracowanie propozycji modelu technologiczno-prawnego technologii przekształcania termicznego odpadów przy wykorzystaniu technologii zgazowania, uwzględniającego aspekty prawne, środowiskowe i procesowe.
4. Opracowanie koncepcji i przeprowadzenie obliczeń bilansowych układu produkcji energii, zintegrowanego z zgazowaniem odpadów
5. Wyniki analizy ekonomicznej rozpatrywanego układu.

Uwagi szczegółowe:

Str. 29

„...jeżeli efektywność energetyczna procesu spalania jest równa lub większa niż 0,65”

Jak rozumiem efektywność energetyczna to ten sam wskaźnik szczegółowo zdefiniowany i opisany w rozdz. 5.1.1 (str. 86) i 5.3.4.1 (str. 124). Dla lepszego zrozumienia, przekazywanych informacji, przez czytelnika korzystnym byłoby w tym miejscu odwołać się do ww. rozdziałów.

Str. 33

„Woda - występuje we wszystkich rodzajach odpadów, jednak może być wykorzystana jako składnik palny jedynie w procesach pirolizy i zgazowania” Woda nie jest składnikiem palnym, może, w postaci pary wykorzystywana być jedynie jako utleniacz.

Str. 33 (tabela 3-2)

„Środek gazyfikujący: O₂, H₂O „

Proponuje używać zgazowujący.

Str. 34

„Ciepło może być przekazywane w sposób bezpośredni (tzw. piroliza allotermiczna) lub pośredni (tzw. piroliza autotermiczna)”.

Wydaje mi się, że odwrotnie.

Str. 35; Rozdz. 3.8.2 Proces zgazowania

W tej części przeglądu brakuje informacji na temat funkcjonujących na świecie rozwiązań komercyjnych, do których należą m.in. technologie:

- Alter NRG Westinghouse Plasma Corporation
- CHO Power
- Enerkem
- JFE i inne

W przeglądzie brakuje również omówienia doświadczeń krajowych (patrz również Wprowadzenie do pracy).

Str. 35

„Zgazowanie jest procesem polegającym na częściowym utlenieniu substancji chemicznych wchodzących w skład paliwa stałego oraz wytworzenie paliwa gazowego. Zachodzi ono w temperaturach bliskich 1000°C”

W zależności od zastosowanej technologii procesy zgazowania realizowane są w temperaturach 800-1600 °C

W zależności od użytego czynnika zgazowującego i rodzaju reaktora, w którym zachodzi proces, głównymi produktami procesu zgazowania są: ...(H_2).... (CO)...

Właściwie w gazie będącym produktem procesu zgazowania zawsze występują te składniki, natomiast od czynnika zgazowującego, rodzaju reaktora oraz temperatury zależą ich udziały.

Str. 36

„ - proces zgazowania jest bardziej odpowiedni dla instalacji o mniejszych rozmiarach,”

To bardzo kontrowersyjne stwierdzenie – wymaga wyjaśnienia i uzasadnienia.

Str. 36

„Zgodnie z informacjami dostępnymi w literaturze (Nikodem W. 2007) dla paliwa alternatywnego o kodzie 19 12 10 (odpady palne, paliwo alternatywne) uzyskuje się przeprowadzenie w gaz nie mniej niż 85% masy surowca (paliwa), przy czym dla czystej biomasy wynik ten może osiągnąć nawet 95%. W związku z powyższym można się spodziewać, że przy wprowadzeniu do procesu zgazowania nadawy składającej się z frakcji preRDF odpadów komunalnych i osadów ściekowych w proporcji 80/20 efektywność procesu zgazowania będzie na poziomie co najmniej 85%.

Zwykle efektywność samego procesu zgazowania mierzymy przy wykorzystaniu tzw. zimnej sprawności zgazowania, która wyraża stosunek „energii” chemicznej zawartej w gazie do doprowadzonej z paliwem. Dla wysokosprawnych reaktorów dyspersyjnych kształtuje się ona na poziomie 83% (Shell SCGP, obecny dostawca Air Product). Z kolei informacja, że 85% masy paliwa przeprowadza się w gaz też o niczym nie świadczy. Proszę o komentarz.

Str. 38

„związki siarki (SO_2 , SO_3 , H_2S , CO_2)”

Ilości SO_2 i SO_3 są śladowe, czy wręcz zerowe.

Str. 39

„lekkich, niekondensujących smół ...”

Smoła lekka to termin, z którym się nie spotkałem. Jeśli nawet potocznie jako smoły czy związki smoliste traktujemy produkty procesu zgazowania to zawsze charakteryzują się one jakąś

charakterystyczną temperaturą kondensacji. Sformułowanie może budzić zamieszanie i wymaga wyjaśnienia.

Str. 42

„W układzie technologicznym wyodrębniamy trzy główne moduły: wyspę biomasową, elektrolizę i uwodornienie.”

Oczywiście chodzi o wyspę zgazowania. Węzeł nazwany uwodornieniem raczej ze względu na ogólny charakter schematu nazwałbym węzłem syntezy (po prostu).

Str. 69

„Wilgotność całkowita”

Czy chodzi o zawartość wilgoci w stanie roboczym (W^{ar}). Wymagałoby to jednoznacznego wyjaśnienia. Jest to ważny parametr w kontekście analizy procesowej całego układu, gdyż będzie wpływał na efektywność procesu zgazowania.

Str. 71

„Na uwagę zasługuje prawie dwukrotny wzrost ilości tworzyw sztucznych w porównaniu z kampanią z 2014 r. O ile ze środowiskowego punktu widzenia taka tendencja jest niekorzystna, o tyle z punktu widzenia energetycznego zagospodarowania odpadów większy udział frakcji tworzyw sztucznych wpływa na wyższą kaloryczność odpadów.”

Jest to stwierdzenie co do zasady prawdziwe. Nie znalazło to jednak odzwierciedlenia w wynikach przeprowadzonych oznaczeń. Uzyskane wartości opałowe odpadów w obu kampaniach pomiarowych są zbliżone (stan suchy). Wymaga komentarza.

Str. 102, Schemat ideowy instalacji

Na schemacie zaznaczono miejsce kontroli jakości gazu przed doprowadzeniem do silnika. Czy jest to tylko założenie na etapie tworzenia koncepcji konfiguracji układu, czy poparte jakimś konkretnym rozwiązaniem. Na schemacie nie zaznaczono również miejsca odzysku „oleju termalnego” (skąd taka nazwa?). Czy jest on odzyskiwany (stanowi on istotny element w bilansie energii układu)? Wymaga wyjaśnienia.

Str. 105

Sprawności przemiany materii organicznej (węgla) w ujęciu energetycznym (energia chemiczna) sięgają wartości w przedziale 85-90 % dla tego typu konstrukcji.

Proszę o wyjaśnienie ww. pojęcia. Czy chodzi o sprawność zimną zgazowania? Patrz również uwaga str. 36 (uwaga nr2)

Str. 118

„Dla obliczeń składu syngazu przyjęto następujące założenia:

- 35% nadawy ulega spalaniu
 - do reaktora dostarcza się powietrze stechiometrycznie – w zakresie spalania części nadawy
- Jako bazowy przyjęto średni skład modelowego syngazu ze zgazowania nadawy przedstawiony poniżej**

Stwierdzenia te wprowadzają pewne zamieszanie. Z jednej strony Autor stwierdza, że uzyskane wyniki są rezultatem obliczeń „Dla obliczeń składu syngazu przyjęto następujące założenia ...” z drugiej stwierdza „Jako bazowy przyjęto średni skład modelowego syngazu ze

zgazowania nadawy przedstawiony poniżej” (chodzi o tabelę 5.19, w której przedstawiono literaturowy skład gazu publikowany w literaturze). Proszę o komentarz (patrz również pkt. Ogólna charakterystyka pracy, rozdz. 5)

Str. 159, tabela 6-8

Pewną wątpliwość budzi niska rezerwa inwestycyjna na poziomie 5%. Dla inwestycji dotyczących układów nieposiadających referencji przemysłowych rezerwa ta może dochodzić nawet do 20 i więcej procent. Sprawę wyjaśniłaby analiza wrażliwości ze względu na zmienne nakłady inwestycyjne.

D. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Mgr inż. Arkadiusz Primus zrealizował w swej rozprawie zadania badawcze mające na celu poznanie i analizę możliwości wdrożenia w warunkach Polski technologii zgazowania paliw odpadowych typu preRDF. Doktorant zaproponował niezwykle kompleksowe podejście do analizowanego zagadnienia obejmujące aspekty prawne, środowiskowe, techniczne i ekonomiczne, czym dowiódł swojej rozległej wiedzy w zakresie tematyki pracy. Praca Pana mgr inż. Arkadiusza Primusa zawiera wiele oryginalnych rozwiązań zarówno w zakresie metodologicznym jak i poznawczym oraz aplikacyjnym. Stanowi ona niezwykle interesujące kompendium wiedzy w rozpatrywanym zakresie merytorycznym, w tym wiedzy mogącej wspomóc rozwój technologii zgazowania odpadów w Kraju. Doktorant zrealizował w całości zakres planowanych badań i osiągnął założone w recenzowanej rozprawie cele oraz dowiódł postawionej tezy.
2. Pewne niedostatki rozprawy podkreślone w recenzji nie zmniejszają osiągnięć metodologicznych, poznawczych i wagi głównych rezultatów.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że przedstawiona przez Pana mgr. inż. Arkadiusza Primusa praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie Pana Arkadiusza Primusa do dalszych etapów przewodu doktorskiego.