

**dr hab. inż. Maria Sozańska, prof. nzw. w Pol. Śl.**  
Instytut Nauki o Materiałach  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii  
Politechnika Śląska  
ul. Krasińskiego 8  
40-019 Katowice

## **R E C E N Z J A**

rozprawy doktorskiej **Pana mgra inż. Ireneusza STANUCHA**  
p.t.: „**Wpływ związków krzemu na formowanie depozytów mineralnych  
oraz degradację oleju smarowego w silnikach zasilanych biogazem  
w rzeczywistych warunkach eksploatacji**”

wykonanej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki  
Politechniki Śląskiej  
pod kierunkiem **Pani prof. dr hab. inż. Jolanty Biegańskiej**

### 1. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Eksploatacja agregatów prądotwórczych w jednostkach kogeneracyjnych wykorzystujących gaz z wysypisk śmieci stwarza szereg problemów związanych z trwałością urządzeń energetycznych. Trwałość ta jest związana przede wszystkim z procesami niszczącego oddziaływania biogazu z odpadów na elementy konstrukcyjne silników. Procesy niszczenia związane są z synergicznym oddziaływaniem środowiska korozyjnego i obciążeń mechanicznych. Opisuje je złożony układ zjawisk fizykochemicznych charakteryzujących lokalne niszczenie materiałów pod wpływem łącznego oddziaływania agresywnego środowiska gazu z odpadów w wyniku reakcji chemicznych lub elektrochemicznych oraz naprężeń mechanicznych powstałych w materiale podczas eksploatacji i wytwarzania materiału (własnych lub przyłożonych). Opis całokształtu zjawisk zachodzących w tych warunkach, mimo ogromnego rozwoju nowoczesnych metod badawczych w XX i XXI wieku, stanowi wciąż wyzwanie badawcze dla współczesnej chemii i fizyki oraz materiałoznawstwa i inżynierii środowiska. Wyzwanie to dotyczy nie tylko gruntownej znajomości zagadnień chemii i fizyki, które opisują zjawiska niszczenia i pozwalają określić właściwości materiałów, ale przede wszystkim określenia trwałości elementów urządzeń

energetycznych w określonych warunkach eksploatacyjnych. Na pozytywny wynik końcowy w postaci bezawaryjnej pracy urządzeń składają się dwa podstawowe aspekty, z jednej strony jest to gruntowana znajomość zagadnień teoretycznych, a z drugiej - opracowanie i wdrożenie konkretnych rozwiązań inżynierskich.

Temat pracy doktorskiej Pana mgra inż. Ireneusza Stanucha wpisuje się w główny nurt badań materiałowych nad procesami niszczenia elementów urządzeń energetycznych w warunkach wykorzystania biogazu z odpadów. Rozprawa doktorska dotyczy charakterystyki materiałowej powstających osadów (depozytów) na elementach urządzeń energetycznych. Zagadnienie to jest niezwykle istotne jeśli weźmie się pod uwagę, że w składzie fazowym biogazu oprócz podstawowych składników metanu i ditlenku węgla znajduje się wiele innych substancji, np. siarkowodór oraz w bardzo ograniczonym stężeniu wielu innych związków, typu halogenków lub związków krzemu, a w szczególności siloksanów. Związki te podczas spalania biogazu mogą powodować powstawanie w silniku wielu różnych osadów (depozytów), w szczególności zawierających krzem. Osady te podczas długotrwałej eksploatacji silnika mogą osiągać grubości nawet kilku milimetrów powodując szereg niekorzystnych efektów prowadzących do przedwczesnego zużycia silnika. Efekty te dotyczą przede wszystkim zużycia ściernego i erozji elementów ruchomych silnika (tłoków i pierścieni) oraz ograniczenia współczynników przewodnictwa ciełnego i efektów smarowania elementów ruchomych. Niekorzystnym zmianom ulega też skład chemiczny i fazowy oleju silnikowego. Przyjęcie za główny kierunek badań w rozprawie doktorskiej pogłębionej charakterystyki powstających osadów podczas eksploatacji w silnikach wykorzystujących biogaz z odpadów oraz oleju silnikowego, uważam za bardzo trafny wybór.

## 2. Charakterystyka szczegółowa rozprawy doktorskiej

Praca napisana jest jasno i wyraźnie można ją rozdzielić na dwie części: przegląd piśmiennictwa (rozdziały 1- 3, strony 9-53), po którym nastąpiło przedstawienie celu i zakresu badań (rozdział 4, strona 54) oraz badań własnych zapoczątkowanych charakterystyką materiału do badań oraz opisem metodyki badań, z następnym przedstawieniem wyników badań zakończonych krótką dyskusją wyników w podsumowaniu i wnioskami (rozdziały 5 -8, strony od 55 do 123). Całość pracy składa się z 12 rozdziałów: rozdział 9 pracy zawiera spis literatury, 10 – spis rysunków, 11 – spis tabel a 12 – spis załączników. Ogólnie praca liczy 154 strony. Autor powołuje się na 130 pozycji literaturowych, w tym 1 jest współautorem. Wskazuje to na dobre rozeznanie w literaturze

przedmiotu, w tym co jest godne również uwagi, w pracach autorów polskich. Klasyczny układ pracy pozwala jednoznacznie wyodrębnić osiągnięcia własne Pana mgra inż. Ireneusza Stanucha.

Cześć studialna pracy jest integralnie związana z jej tematem i została oparta na szerokim przeglądzie najnowszych pozycji literaturowych i monograficznych, dotyczących charakterystyki biogazu jako źródła energii (rozdział 1) oraz związków krzemoorganicznych w biogazie (rozdział 2), w tym charakterystyki siloksanów oraz skutków ich występowania w postaci depozytów w urządzeniach energetycznych wykorzystujących biogaz i technologii ich usuwania z biogazu oraz charakterystyki oleju silnikowego (rozdział 3), w tym wpływu zanieczyszczeń, kontaminacji oraz dodatków uszlachetniających na zmiany jego właściwości. Część literaturowa pracy kończy się krótkim opisem czynników wpływających na stan oleju w silnikach.

W tej części pracy, na uwagę zasługuje dobra, chociaż czasami zbyt ogólnikowa, charakterystyka biogazu jako źródła energii oraz związków krzemoorganicznych. Interesujące i wartościowe jest zestawienie właściwości i technologii uzdatniania biogazu oraz charakterystyka siloksanów i depozytów szczególnie ze względu na szeroki i właściwy dobór źródeł literaturowych.

Pan mgr inż. Ireneusz Stanuch opisał szczegółowo na podstawie aktualnego stanu literatury składy chemiczne i fazowe siloksanów wraz z ich strukturą oraz tworzących się przy ich udziale depozytów w urządzeniach wykorzystujących biogaz, w szczególności umiejscowienie depozytów i ich morfologię. Autor słusznie stwierdza, że w praktyce obecnie stosuje się różne strategie dotyczące siloksanów w biogazie w zależności od ich zawartości i wskazuje jednocześnie na możliwości rozwiązania tego problemu.

Wynikiem krytycznej analizy literatury i jej podsumowania jest klarowne sformułowanie przez Pana mgra inż. Ireneusza Stanucha celu i zakresu pracy. W rozprawie doktorskiej zdefiniowano 2 cele:

- 1. Zbadanie morfologii powierzchni, składu chemicznego oraz struktury krystalicznej depozytów wytworzonych podczas spalania agresywnego biogazu i na tej podstawie określenie możliwości ich szkodliwego oddziaływania na elementy konstrukcyjne silnika*
- 2. Zbadanie wpływu krzemu na degradację oleju silnikowego w silnikach zasilanych biogazem oraz gazem zimnym w rzeczywistych warunkach pracy poprzez analizę dynamiki zmian koncentracji tego pierwiastka.*

Zaprezentowane cele rozprawy doktorskiej uważam za poprawne pod względem naukowym, jasno sformułowane i jednocześnie na tyle ogólne, że można oczekiwać różnych dróg ich udowodnienia. Pan Ireneusz Stanuch właściwie sformułował istotę problemu

naukowego w sposób konkretny i poprawny, wykazał tym samym dobre przygotowanie do samodzielnego rozwiązywania zagadnień zarówno teoretycznych, jak też związanych z praktyczną realizacją eksperymentu. Program badań i zastosowane metody badań w rozprawie doktorskiej są całkowicie adekwatne do postawionych zadań.

Główny problem rozprawy doktorskiej związany z charakterystyką depozytów w zakresie oceny ich morfologii, składu chemicznego oraz fazowego został zrealizowany w pełni. Na szczególną uwagę zasługuje wybór materiału do badań – stanowią go depozyty ze starannie wybranych miejsc elementów silników z jednostek kogeneracyjnych zasilanych biogazem wysypiskowym. W pracy należy zwrócić również uwagę na opisy morfologii (makrostruktury) i mikrostruktury (elektronowa mikroskopia skaningowa - SEM) otrzymanych depozytów z poprawną identyfikacją faz metodami dyfrakcji rentgenowskiej (XRD) oraz określeniem ich składu chemicznego na powierzchni i na przekrojach poprzecznych (mikroanaliza rentgenowska przy użyciu spektrometru z dyspersją energii – EDS, analiza z mikroobjętości i stężenia względne pierwiastków wzdłuż linii). Na uwagę w pracy zasługują również charakterystyki fizykochemiczne oleju silnikowego w silnikach zasilanych gazem ziemnym oraz wysypiskowym (ciężar właściwy, dane o lepkości, pozostałości po spopieleniu, zasadowości oraz temperaturze płynięcia i zapłonu) oraz dane o stężeniu krzemu w oleju silnikowym w zależności od czasu pracy silnika.

W „Podsumowaniu” (rozdział 7), przedstawionej rozprawy doktorskiej Pan mgr inż. Ireneusz Stanuch dokonuje analizy wszystkich otrzymanych wyników, od charakterystyki morfologii powierzchni oraz mikrostruktury przekrojów porzecznych depozytów, ich składu chemicznego i fazowego, po wyniki badań właściwości fizykochemicznych olejów silnikowych z urządzeń wykorzystujących gaz wysypiskowy, dowodząc w całej pełni realizacji postawionych celów. W tej części pracy Autor w pełni wykazał umiejętność syntetycznego i zarazem pogłębionego w stosunku do wcześniejszych opracowań, ujęcia teoretycznych i praktycznych aspektów badań własnych.

Wnioski sformułowane na podstawie otrzymanych wyników badań i ich dyskusja są przedstawione w sposób jasny i wykazujący, że postawione cele przez Pana mgra inż. Ireneusza Stanucha zostały zrealizowane.

### 3. Ocena rozprawy doktorskiej

Za największe zalety pracy uważam:

1. Szczegółową charakterystykę morfologii, składu chemicznego i fazowego depozytów z silników wykorzystujących gaz wysypiskowy w zależności od czasu pracy i miejsca w komorze silnika.

2. Wskazanie składników w dodatkach uszlachetniających oleju silnikowego istotnych z punktu widzenia tworzenia się depozytów zawierających związki krzemu.

Oceniając pozytywnie rozprawę doktorską, pozwolę sobie na kilka uwag do dyskusji, a w szczególności:

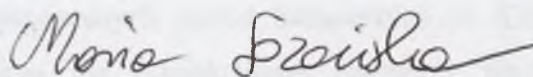
1. Uważam za mało wyczerpującą charakterystykę materiału do badań, w szczególności pobranych depozytów. Proszę o wyjaśnienie, jakie były kryteria doboru materiału do badań.
2. W pracy nie przedstawiono szczegółowej metodyki badań oleju silnikowego. Proszę o krótką charakterystykę zastosowanych metod badań.
3. Przedstawiony zestaw badań mikrostruktury, składu chemicznego i fazowego depozytów oraz oleju silnikowego jest właściwie dobrany, ale można by go rozszerzyć o inne jeszcze badania w przyszłości. Jakie i dlaczego?

W podsumowaniu recenzji stwierdzam, że pod względem edytorskim praca jest wykonana poprawnie, napisana jest prostym i jasnym językiem. Zauważone drobne nieścisłości stylistyczne nie są warte umieszczenia w recenzji.

Natomiast, w ogólnej ocenie stwierdzam, że Pan mgr inż. Ireneusz Stanuch zrealizował zadanie badawcze będące przedmiotem rozprawy. Zawarte w rozprawie wnioski są udokumentowane.

Biorąc pod uwagę aktualność tematyki pracy w świetle prowadzonych na świecie badań dotyczących wykorzystania biogazu wysypiskowego w jednostkach kogeneracyjnych, klarowne sformułowanie celów pracy oraz ich osiągnięcie na drodze dobrze zaplanowanych i przeprowadzonych badań wraz z dyskusją otrzymanych wyników, oceniam przedstawioną rozprawę doktorską bardzo wysoko i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgra inż. Ireneusza Stanucha do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Na podstawie przedstawionej opinii stwierdzam, że przedstawiona praca doktorska Pana mgra inż. Ireneusza Stanucha p.t.: *„Wpływ związków krzemu na formowanie depozytów mineralnych oraz degradację oleju smarowego w silnikach zasilanych biogazem w rzeczywistych warunkach eksploatacji”* spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, przewidziane odpowiednimi ustawami i jednocześnie wnioskuję o jej wyróżnienie.



Katowice, 15.07.2017r.