

Dr hab. inż. Jarosław Zuwała  
Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla  
ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze  
email: [jzuwala@ichpw.pl](mailto:jzuwala@ichpw.pl)

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Ewy Lisieckiej  
pt. „Metoda i urządzenie do optycznego pomiaru temperatury w procesie podziemnego  
zgazowania węgla”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Henryk Passia, prof. GIG  
Promotor pomocniczy rozprawy: dr inż. Sebastian Iwaszenko  
Główny Instytut Górnictwa w Katowicach

### 1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Pismo prof. dr hab. inż. Józefa Dubińskiego, Naczelnego Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa sformułowane w imieniu własnym oraz Rady Naukowej GIG, z dnia 16 października 2014 roku dotyczące opracowania recenzji wspomnianej rozprawy.

### 2. Wprowadzenie

Zakres merytoryczny i formalny recenzji uwzględnia zalecenia przepisów ustawy z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. 03.65.595 z dnia 16.04.2003r.). Zgodnie z art. 13. Ust.1. wymienionej ustawy rolą recenzenta jest między innymi odniesienie się do zapisów, że „...*Rozprawa doktorska przygotowana pod opieką promotora, powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.*”. Ust.3. tej ustawy, stanowi ponadto, że „...*Rozprawę doktorską może stanowić praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna lub artystyczna, jeżeli odpowiada warunkom określonym w ust. 1....*” Do czego również należy odnieść się w recenzji, jeżeli zawartość pracy na taką okoliczność wskazuje.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Ewy Lisieckiej, dotyczy opracowania nowej, autorskiej metody optycznego pomiaru temperatury w procesie podziemnego zgazowania węgla, obejmuje wyniki prac projektowych i konstrukcyjnych elementów optycznych, tworzących układ pomiarowy zawiera także wyniki wstępnych testów opracowanej metody pomiarowej w warunkach laboratoryjnych oraz tzw. warunkach „ex-situ” oraz „in-situ”.

Z zacytowanego wcześniej fragmentu ustawy wynika, że treść recenzji powinna zawierać ustalenie, czy przedłożona praca spełnia wyszczególnione wymagania. Recenzja moja zawiera ustosunkowanie się do następujących kwestii:

- Prawidłowość sformułowania tematu rozprawy.
- Znajomość przez Doktorantkę zagadnień związanych z pracą.

- Słuszność postawionej tezy rozprawy.
- Prawdliwość zamieszczonych w pracy rozwiązań teoretycznych, rezultatów przeprowadzonych obliczeń oraz sformułowanych wniosków końcowych, samodzielności Doktorantkę w rozwiązywaniu przedstawionych zagadnień naukowych.

### 3. Ogólna ocena rozprawy wraz z uwagami krytycznymi

Przedmiotową rozprawę Doktorantka zawarła na 80-ciu stronach tekstu zasadniczego oraz 14-tu stronach zawierających 4-ry ponumerowane oddzielnie załączniki. Wykaz literatury mieści się na 5-ciu stronach, zawierając 98 pozycji, z których 36 odnosi się do materiałów polskojęzycznych a 63 stanowią odwołania do pozycji literatury obcojęzycznej. Stwierdzam, że literatura jest aktualna, bardzo wiele cytowanych pozycji pochodzi z ostatnich lat.

Praca zawiera spis rysunków i tabel a także wykaz ważniejszych oznaczeń co znacząco ułatwia jej lekturę. Bogata jest w formy graficzne – zawiera ponad 60 rysunków, wykresów, zdjęć i tabel. Rozprawa napisana jest jasnym i zwięzłym językiem.

Struktura merytoryczna recenzowanej pracy jest właściwa. Pracę rozpoczyna nienumerowany punkt, gdzie Autorka formułuje cel, jakim jest *„opracowanie projektu i zaawansowanego modelu optoelektronicznego urządzenia do pomiaru temperatury w reaktorze podziemnego zgazowania węgla”* i zakres pracy, który *„obejmuje koncepcję autorskiej metody pomiarowej i modelu urządzenia wykorzystującego opracowaną metodę do analizy i przetwarzania danych pomiarowych”*. Następnie stawia tezę, która brzmi: *„Istnieje możliwość opracowania optycznej metody i urządzenia do bezkontaktowego pomiaru temperatury wewnątrz reaktora podziemnego zgazowania węgla z pominięciem zależności amplitudowych i problemu emisyjności ciał nie będących doskonale czarnymi”*.

Pracę podzielono na osiem (8) rozdziałów (wraz z rozdziałami wprowadzającymi i podsumowującym), z których trzy (3) pierwsze dotyczą wprowadzenia i analizy stanu zagadnienia. Po krótkim omówieniu idei procesu podziemnego zgazowania węgla (PZW), Autorka przechodzi do analizy stanu wiedzy w obszarze metod pomiaru temperatury w tym procesie, wskazując na bardzo istotną rolę tego parametru jako kontrolnego z uwagi na jakość i skład wytwarzanego w procesie PZW gazu. Następnie dokonuje krytycznego podsumowania istniejących metod, wskazując na ich ograniczenia. Opisuje „klasyczne” metody umożliwiające dokonywanie pomiaru temperatury metodami optycznymi, również wskazując na istniejące w tym zakresie ograniczenia, wynikające głównie z wpływu emisyjności oraz promieniowania otoczenia i transmisyjności atmosfery.

Zasadniczą część rozprawy stanowią rozdziały 4-7, poświęcone kolejno: koncepcji autorskiej metody optycznej pomiaru temperatury w reaktorze podziemnego zgazowania węgla (rozdział 4), koncepcji urządzenia do optycznego pomiaru temperatury (rozdział 5) oraz testom laboratoryjnym urządzenia wraz z podzespołami i wstępnym pomiarom temperatury w procesie PZW w reaktorach „in-situ” i „ex-situ” (rozdziały 6 i 7).

#### 3.1 Ocena prawidłowości wyboru tematu

Węgiel jest obecnie w skali światowej jedynym surowcem energetycznym, pozwalającym na stabilne zaspokojenie potrzeb energetycznych w długiej perspektywie czasowej. Stosowanie węgla jako pierwotnego źródła energii wymaga stałego postępu w metodach jego wykorzystania w aspekcie poprawy sprawności poszczególnych procesów jednostkowych i zmniejszenia obciążeń środowiskowych. Metody wytwarzania z węgla paliw płynnych i gazowych umożliwiają z kolei pokrycie zapotrzebowania na tego rodzaju nośniki energii i jednocześnie

dywersyfikację źródeł dostaw surowców energetycznych. Współczesne, czyste technologie węglowe, pozwalają na znaczące zmniejszenie negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne procesów związanych z wykorzystaniem węgla. Polska, kraj o dużych zasobach węgla i o energetyce w największym stopniu w Unii Europejskiej bazującej na węglu kamiennym i brunatnym, jest szczególnie zainteresowana rozwojem tego typu technologii. Trwający proces konwergencji polskiej gospodarki wiąże się bowiem ze stałym wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną. Stąd też szczególnie istotnym zagadnieniem staje się zapewnienie wystarczającego potencjału wytwórczego tej energii, z odpowiednim wykorzystaniem krajowych źródeł energii pierwotnej.

Proces podziemnego zgazowania węgla polegający na doprowadzeniu do zapalonego złoża węgla czynnika zgazowującego (powietrza, tlenu bądź pary wodnej) zaliczany jest do jednej z perspektywicznych tzw. „czystych technologii węglowych”. Uzyskiwany w procesie PZW gaz syntezowy może być po odpowiednim przygotowaniu wykorzystany wprost do produkcji energii (przykładowo w układach gazowo – parowych) bądź na cele dalszego przerobu w syntezach chemicznych. Nie tylko sektor górnictwa kamiennego zainteresowany jest wdrożeniem i zastosowaniem tej technologii - szczególnie w przypadku pokładów resztkowych; zainteresowanie nią wyraża także koncern KGHM SA, który w obszarze Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego w roku 2013-tym wykonał 9 otworów wiertniczych oraz specjalistyczne badania geologiczne mające na celu poszukiwanie i rozpoznanie zasobów węgla brunatnego, pod kątem jego podziemnego zgazowania.

Rozprawa mgr inż. Ewy Lisieckiej istotnie wpisuje się w prace badawcze prowadzone w obszarze czystych technologii węglowych. Jak stwierdza Doktorantka, istotna rola pomiaru temperatury polega na zapewnieniu stabilności strumienia a także składu (przez to głównie kaloryczności) wytwarzanego w procesie PZW gazu a co za tym idzie możliwości techniczno – ekonomicznej integracji tego procesu z dalszymi technologiami wykorzystującymi wytworzony gaz.

Przedmiot pracy jest więc aktualny i bardzo ważny.

Recenzowana praca obejmuje zagadnienie pomiaru temperatury podczas której zachodzi i przebiega proces podziemnego zgazowania węgla co z uwagi na istotne ograniczenia, które opisywanym przez Doktorantkę istniejącym wariantowym metodom pomiarowym stawia specyficzne środowisko podziemnego reaktora zgazowania. W ujęciu Doktorantki, przewaga opracowanej autorskiej metody optycznej leży w eliminacji oddziaływania na mierzoną wartość temperatury wielu parametrów charakterystycznych dla reaktora podziemnego zgazowania, które w istotny sposób mogą mieć wpływ na zmierzoną wartość temperatury przy wykorzystaniu innych, opisanych w pracy wariantowych metod. Doktorantka opracowała nową metodę badawczą oraz model a następnie prototypowe urządzenie umożliwiające praktyczne przetestowanie metody i narzędzia w warunkach laboratoryjnych i zbliżonych do rzeczywistych.

Tematyka uwzględniająca zatem praktyczne rozwiązanie problemu pomiaru temperatury przebiegu procesu podziemnego zgazowania poprzez opracowanie nowej metody i konstrukcji urządzenia służącego temu pomiarowi jest kluczowa z punktu widzenia przyszłego rozwoju technologii podziemnego zgazowania jako „czystej technologii węglowej”, sprzyjającej zmniejszaniu negatywnego wpływu sektora wytwarzania energii na środowisko poprzez m.in. ograniczanie bądź eliminację emisji CO<sub>2</sub>.

Mając na uwadze powyższe, stwierdzam że temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Ewy Lisieckiej został wybrany prawidłowo, a całość podjętej pracy uwarunkowana była nie tylko po-

trzecimi naukowo – badawczymi, ale przede wszystkim jej przyszłymi efektami praktycznymi i wdrożeniowymi w obszarze PZW jako jednej z „czystych technologii węglowych”.

### 3.2 Ocena prawidłowości tezy

Doktorantka w pracy sformułowała tezę, która stanowiła, że:

*Istnieje możliwość opracowania optycznej metody i urządzenia do bezkontaktowego pomiaru temperatury wewnątrz reaktora podziemnego zgazowania węgla z pominięciem zależności amplitudowych i problemu emisyjności ciał nie będących doskonale czarnymi.*

Teza pracy sformułowana została prawidłowo, dla jej potwierdzenia Doktorantka opracowała koncepcję metody pomiarowej i urządzenia wykorzystującego opracowaną metodykę do pomiaru temperatury. Zaprojektowała model czujnika a następnie przeprowadziła szereg testów laboratoryjnych a także testów w symulowanych warunkach procesu PZW.

Przeprowadzone przez Doktorantkę badania, w zakres których wchodziło opracowanie koncepcji, projekt modelu czujnika a także zrealizowane w szerokim zakresie testy weryfikujące prawidłowość metodyki i poprawność konstrukcji modelu umożliwiły udowodnienie tej tezy i dostarczyły oryginalnej wiedzy w analizowanym obszarze badawczym. Metoda pomiarowa i urządzenie do jej realizacji zostały zgłoszone do ochrony w Urzędzie Patentowym RP.

Postawiona teza pracy oraz przyjęte cele są bardzo ważne przede wszystkim z uwagi na bezdyskusyjne przyszłe walory praktyczne nowej metody i urządzenia pomiarowego, co wymaga podkreślenia. Nowa, autorska metodyka jest również bardzo istotna z poznawczego punktu widzenia w obszarze technik pomiaru temperatury w wysokotemperaturowych ośrodkach gazowych.

## 4. Analiza treści rozprawy

W poniższym rozdziale recenzji skupię uwagę na zagadnieniach naukowych samodzielnie rozwiązanych przez Doktorantkę, na krytyce prawidłowości rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz na uwagach dyskusyjnych i wątpliwościach, które nasunęły mi się przy pisanu recenzji. Na końcu zamieszczonej analizy odniosę się do oryginalności i wskażę na główne walory rozprawy.

### 4.1 Zagadnienia naukowe rozwiązane samodzielnie przez Doktoranta

Po przeprowadzeniu analizy treści rozprawy stwierdzam, że sformułowany przez Doktorantkę cel został zrealizowany, potwierdzając słuszność przyjętych założeń. Osiągnięcie celu naukowego rozprawy możliwe było dzięki oryginalnemu rozwiązaniu problemu naukowego jakim było opracowanie autorskiej bezkontaktowej metody optycznej pomiaru temperatury, pozwalającej na prowadzenie pomiarów ośrodka gazowego na odległość. Podstawową ideą przyjętej metody jest odejście od rejestracji amplitudowej na rzecz wykorzystania powiązania rejestracji temperatury z osiąganą pozycją maksimum krzywej emisyjnej w układzie Plancka. Podkreślić warto bardzo sumiennie przeprowadzony krytyczny przegląd literatury – analizę stanu wiedzy w obszarze istniejących metod pomiaru temperatury w procesie podziemnego zgazowania węgla, która wskazała na istniejące, istotne ograniczenia towarzyszące stosowaniu alternatywnych metod pomiaru temperatury.

Do najważniejszych zagadnień naukowych rozwiązanych samodzielnie przez Doktorantkę zaliczyć należy:

- opracowanie autorskiej koncepcji optycznej metody pomiaru temperatury dla zastosowania w procesie podziemnego zgazowania węgla, obejmującą dwa algorytmy, stosowalne w zależności od zakresu długości fal, przy których prowadzone są pomiary,
- w oparciu o opracowaną metodykę, zaprojektowanie optoelektronicznego urządzenia do pomiaru temperatury uwzględniając projekty i sposoby wykonania poszczególnych elementów optycznych, dostosowane do warunków prowadzenia testów weryfikujących,
- dobór odpowiednich materiałów do wykonania elementów optycznych stanowiących składowe urządzenia pomiarowe,
- wykonanie prototypowej konstrukcji urządzenia pomiarowego na potrzeby testów weryfikujących opracowaną metodę.

Podsumowując zagadnienia naukowe rozwiązane przez Doktorantkę samodzielnie należy stwierdzić, że **opracowała ona funkcjonalną i użyteczną metodykę umożliwiającą dokonywanie pomiaru temperatury w sposób bezkontaktowy w warunkach podziemnego zgazowania węgla a następnie stworzyła koncepcję i wykonała model optoelektronicznego urządzenia pomiarowego, który następnie przetestowała w warunkach laboratoryjnych i zbliżonych do rzeczywistych.**

#### 4.2 Prawdliwość rozważań, uzyskanych wyników i wniosków oraz uwagi krytyczne.

Koncepcja autorskiej metodyki pomiaru temperatury została opracowana w wyniku analizy istniejącego stanu wiedzy i praktyki przemysłowej w obszarze metod i narzędzi pomiarowych stosowanych w przypadku realizacji procesu podziemnego zgazowania węgla.

Na potrzeby opracowywania koncepcji przeprowadzono także analizę błędów i niepewności opracowywanej metody pomiaru temperatury oraz analizę wpływu emisyjności na uzyskane wyniki. Treści rozprawy dowodzą, że Doktorantka bardzo dobrze znajduje się w przedmiotowej problematyce. Nie stwierdzam, istotnych uchybień w tym zakresie i oceniam znajomość przedmiotu zagadnienia przez Doktoranta, w tym jego przygotowanie zawodowe i naukowe - pozytywnie.

Poniżej zamieszczam kilka wątpliwości – które uznaję za drobne lub porządkowe.

- W pracy podano dwa odmienne algorytmy wyznaczania temperatury w zależności od rozważanego zakresu spektralnego. Proszę o komentarz czy te algorytmy mogą być stosowane zamiennie, a jeżeli nie to który należy wybierać i czy dokonuje się to automatycznie, np. jest to element oprogramowania systemu rejestrująco – przetwarzającego, stanowiącego część wyposażenia pomiarowego?
- Materiał (kwarc, szafir), który Doktorantka sugeruje jako konstrukcyjny do wykonania części urządzenia pomiarowego posiada stosunkowo niską odporność na uszkodzenia mechaniczne; Autorka wskazuje nawet na uszkodzenia mechaniczne powstałe w trakcie prowadzenia badań w skali „in-situ”. Czy ta niska odporność nie będzie barierą przemysłowego wdrożenia tej metody i urządzenia i czy zaproponowany w pracy montaż czujnika na początku kanału ogniowego (na wlocie czynnika zgazowującego) będzie stanowił wystarczające zabezpieczenie przed zniszczeniem tego elementu?

Pracę kończy rozdział zatytułowany „Podsumowanie i wnioski”. Podsumowanie jest faktycznym zbiorem stwierdzeń podsumowujących uzyskane wyniki badań, zaś zawarte w nim wnioski pozwalają na jednoznaczne potwierdzenie postawionej na początku pracy tezy.

Prezentuję opinię, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Ewy Lisieckiej opisująca metodę i urządzenie do bezkontaktowego, optycznego pomiaru temperatury jest rzeczywiście rozwiązaniem oryginalnym i wnoszącym postęp w problematykę pomiaru bardzo istotnego z punktu widzenia prowadzenia procesu podziemnego zgazowania węgla parametru jakim jest temperatura w geo-reaktorze.

**Opowiadam się za dalszym rozwojem badań w tym zakresie, w celu doprowadzenia do pełnoskalowej weryfikacji możliwości wdrożenia i zastosowania opracowanej metody i urządzenia pomiarowego w warunkach rzeczywistych procesu PZW.**

#### 4.3 Oryginalność i główne walory rozprawy

Wykazanie możliwości zastosowania metod optycznych dla określania temperatury panującej w geo-reaktorze w trakcie prowadzenia podziemnego zgazowania węgla i jej potwierdzenie poprzez weryfikację w skali laboratoryjnej i pilotowej (reaktory „ex-situ” i „in-situ”) poszerza znacząco dotychczasową wiedzę w obszarze metod pomiaru temperatury ośrodków gazowych. Wnioski uzyskane w wyniku realizacji pracy z pewnością mogą zostać wykorzystane nie tylko w praktyczny sposób - poprzez wytworzenie na bazie pozyskanej i ujętej w zgłoszeniu patentowym wiedzy - aparatury pracującej w warunkach przemysłowych reaktora podziemnego zgazowania węgla ale także w rozwoju metod i narzędzi pomiarowych dla zastosowań w innych procesach charakteryzujących się koniecznością pomiaru temperatury ośrodków gazowych.

**Niewątpliwie wyniki uzyskane w trakcie realizacji pracy stawiają w nowym świetle optyczne metody pomiarowe a przeprowadzone badania weryfikujące dostarczyły ważnych wniosków konstrukcyjnych, które będą bardzo istotne w trakcie przemysłowych aplikacji poprzedzonych wcześniejszą koniecznością powiększenia skali zaproponowanego narzędzia pomiarowego.**

#### 4. Wnioski końcowe

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej, biorąc pod uwagę przedstawione wcześniej uwagi i spostrzeżenia **stwierdzam, że Doktorantka, p. Ewa Lisiecka spełniła wymagania stawiane rozprawie doktorskiej.** Artykuł 13 ustęp 3 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” stanowi, że rozprawą doktorską może być m.in. praca konstrukcyjna, spełniająca warunki podane wcześniej w treści przedmiotowej ustawy.

**Stwierdzam, że przedstawiona przez panią mgr inż. Ewę Lisiecką rozprawa, prezentująca nowatorską metodykę badawczą oraz zaprojektowane i skonstruowane na potrzeby laboratoryjnej i pilotowej weryfikacji urządzenie pomiarowe spełnia warunki przywołanej na wstępie ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”.** Doktorantka przedstawiła w niej oryginalne i innowacyjne rozwiązanie problemu naukowego, wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną a także umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

**Wobec powyższych faktów stawiam przed Radą Naukową Głównego Instytutu Górnicztwa w Katowicach wniosek o dopuszczenie przedmiotowej rozprawy do publicznej obrony.**

JAROSŁAW ZUWAŁKA (M. Leś)

Katowice, 8 grudnia 2014 roku.