Załącznik 2

Autoreferat

1. **Imię i nazwisko**: Stanisław Gil

2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**

Uzyskany tytuł: **Magister inżynier**

Politechnika Śląska, Wydział Metalurgiczny, Katowice, 1986

Kierunek: Mechanika

Specjalność: Systemy i urządzenia energetyczne

Specjalizacja: Urządzenia do zgazowanie węgla

Temat pracy dyplomowej magisterskiej: *Przygotowanie wybranych stanowisk do podstawowej charakterystyki smół z fluidalnego odgazowania*

Uzyskany stopień: **Doktor nauk technicznych**

Politechnika Śląska, Wydz. Inżynierii Materiałowej, Metalurgii i Transportu , Katowice, 2000

Dyscyplina naukowa: Metalurgia

Temat pracy doktorskiej: *Badanie wpływu ciśnienia na kinetykę konwersji azotu z węgla w trakcie odgazowania i spalania*

3. **Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

1987 – 1988 Centralne Zakłady Automatyzacji Hutnictwa, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy
konstruktor mechanik

1988 – 1995 Politechnika Śląska, Wydział Metalurgiczny, Katedra Energetyki Procesowej
mechanik

1995 – 2000 Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Metalurgii i Transportu, Katedra Energetyki Procesowej
asystent

2000 – 2010 Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Katedra Energetyki Procesowej
adiunkt

2010 – nadal Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii, Katedra Metalurgii
adiunkt

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

rodzaj osiągnięcia naukowego/artystycznego - **monografia**

b) *(autor, tytuł publikacji, nazwa wydawnictwa, rok wydania)*

Stanisław Gil, Kinetyka tworzenia się tlenków azotu podczas ciśnieniowego spalania węgla. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012, ISBN 978-83-7880-008-8.

b) *omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników*

Podsumowaniem mojego dotychczasowego dorobku naukowo-badawczego jest wydana monografia pt. „**Kinetyka tworzenia się tlenków azotu podczas ciśnieniowego spalania węgla**”. Zawiera ona wyniki i analizę prowadzonych przez mnie wieloletnich badań nad mechanizmami konwersji azotu paliwowego podczas spalania węgla, a szczególnie spalania ciśnieniowego. Ich efektem końcowym jest model kinetyczny tworzenia się tlenków azotu podczas spalania karbonizatu z uwzględnieniem dyfuzji reagentów gazowych wewnątrz porów i współczynnika efektywności wykorzystania powierzchni oraz zmian porowatości i powierzchni wewnętrznej ziarna karbonizatu w trakcie procesu spalania.

W monografii zebrałem informacje niezbędne do modelowania procesów wyzwalania się azotu paliwowego w trakcie odgazowania węgla oraz tworzenia się NO, N_2O i N_2 podczas spalania karbonizatu przy podwyższonym ciśnieniu, celem poprawy dokładności modeli tworzenia się tlenków azotu.

Praca obejmuje opis i wyniki przeprowadzonych eksperymentów odgazowania dla wybranych węgli krajowych w atmosferze obojętnej i utleniającej, w zakresie ciśnień od 0.1 do 3.0 MPa, przy szybkościach nagrzewania od 20 do 100 K/s oraz w zakresie temperatur do 1373 K. Efektem końcowym pracy jest model kinetyczny tworzenia się tlenków azotu podczas spalania karbonizatu węglowego, zweryfikowany na bazie własnych badań eksperymentalnych i danych literaturowych.

Dotychczasowe badania wykazują, że struktura ziaren paliwa w trakcie spalania odgrywa istotną rolę w mechanizmie reakcji NO-karbonizat, dlatego kinetyka zmian porowatości oraz struktury porów powinny być uwzględnione w modelu tworzenia się NO i N_2O. Wykonałem badania porowatości całkowitej węgli i karbonizatów, objętości oraz powierzchni właściwej porów, średniego promienia porów, a także rozkładu struktury porów. Przyjąłem cylindryczny model ich struktury. Opracowałem model kinetyki zmian struktury wewnętrznej węgla w warunkach podwyższonego ciśnienia oraz przeprowadzono weryfikację modelu opierając się na danych eksperymentalnych. Badania wykazały, że ewolucja struktury porów przebiega w dwóch etapach: pierwszy, to intensywne zmiany porowatości związane z wydzielaniem się części lotnych, po których następuje drugi etap wolnych i dużych zmian porowatości. Struktura porów w karbonizacie jest nieznacznie zależna od ciśnienia odgazowania w zakresie od 0.1 do 3.0 MPa.

Przeprowadziłem również badania kinetyki eliminacji azotu z węgla podczas procesu odgazowania. Systematyczne badania wykonałem na podstawie analiz zawartości azotu w powstałym karbonizacie dla dwóch wartości ciśnienia: 0.1 i 1.0 MPa. Wyznaczyłem dwa komplety stałych kinetycznych dla tych wartości opierając się na eksperymentach i opracowanych modelach matematycznych. Badania wykazały, że temperatura ma decydujący wpływ na pirolizę związków azotu. Ze wzrostem ciśnienia odgazowania intensywność procesu generowania związków azotowych słabnie.

Wykonałem eksperymenty spalania karbonizatów w zakresie ciśnień od 0.2 do 1.5 MPa oraz eksperymenty redukcji NO i N_2O na powierzchni karbonizatu węglowego. Przeprowadziłem także analizę C-H-N dla karbonizatów uzyskanych po spaleniu próbek. Zweryfikowałem stałe kinetyczne głównych reakcji tworzenia się NO, N_2O i N_2 podczas spalania karbonizatu oraz wykazałem niezależność ich wartości od ciśnienia. Opracowałem model kinetyczny spalania karbonizatu zawierający sekwencję ośmiu reakcji powierzchniowych z udziałem centrów aktywnych na matrycy węglowej. W modelu uwzględniłem dyfuzję reagentów gazowych wewnątrz ziarna, współczynnik efektywności wykorzystania powierzchni ziarna oraz zmiany porowatości i pola powierzchni wewnętrznej ziarna w miarę postępu procesu spalania. Wyprowadzone w pracy zależności pozwalają na modelowanie przebiegu zmian struktury ziarna podczas termicznej konwersji karbonizatu w szerokim zakresie stopnia jego przereagowania. Uzyskałem zadowalającą zbieżność wyników modelowania pola powierzchni wewnętrznej ziarna z wynikami badań eksperymentalnych dla 10 typów węgli reagujących w różnych warunkach. Model kinetyczny spalania wraz z

zaproponowanym zestawem wartości parametrów kinetycznych reakcji dobrze opisuje wyniki eksperymentów dla polskich węgli energetycznych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).

Głównym przedmiotem mojej działalności naukowo-badawczej są procesy konwersji energii oraz ich aspekty ekologiczne, a w szczególności: badania szybkości procesów pirolizy, spalania i zgazowania paliw stałych, badania własności cieplnych i strukturalnych substancji węglowych w trakcie procesów ich termicznej konwersji, badania wpływu ciśnienia na przebieg tych procesów, badania kinetyki konwersji substancji węglowych w trakcie odgazowania i spalania oraz badania kinetyki tworzenia się i destrukcji tlenków azotu w procesie ciśnieniowego spalania węgla. Dodatkowy nurt działalności naukowo-badawczej obejmuje: aplikacyjne możliwości wykorzystania modelu struktury porów w innych dziedzinach techniki, możliwości zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków oraz układy hybrydowe pozyskiwania ciepła i chłodu z wykorzystaniem energii promieniowania słonecznego. Działalność ta przejawiała się poprzez czynny udział w badaniach statutowych uczelni, pracach badawczych na rzecz przemysłu oraz projektach naukowo-badawczych. Prowadziłem również i nadal kontynuuję badania własne, w szczególności:

- badania eksperymentalne na zbudowanych według projektów własnych stanowiskach badawczych do pirolizy, spalania i hydrozgazowania węgla,
- badania z zakresu analiz chemicznych i instrumentalnych węgli i karbonizatów oraz ciekłych i gazowych produktów termicznej konwersji paliw stałych,
- badania modelowe procesów pirolizy, spalania i hydrozgazowania węgla z wykorzystaniem komercyjnych i własnych programów komputerowych.

Dotychczas kierowałem zespołami badawczymi lub uczestniczyłem jako wykonawca w realizacji następujących prac naukowo-badawczych:

- Badania strukturalne i analiza koksu dla Koksowni " Przyjaźń" (wykonawca).
- Badania własności cieplnych i strukturalnych substancji węglowych w trakcie procesów ich termicznej konwersji (wykonawca).
- Badania kinetyki tworzenia paliwowych tlenków azotu w procesie ciśnieniowego spalania węgla. Etap I. Projekt badawczy BW-454/RM-4/95 (kierownik projektu).
- Badania kinetyki tworzenia paliwowych tlenków azotu w procesie ciśnieniowego spalania węgla. Etap II. Projekt badawczy BW-507/RM-4/96 (kierownik projektu).

- Badania eksperymentalne i modelowanie matematyczne w procesach spalania. Zadanie A. Wyznaczanie współczynnika redukcji podtlenku azotu na karbonizacie. Projekt badawczy BW-472/RM-4/2004 (kierownik zadania).
- Badania wpływu ciśnienia na kinetykę konwersji azotu z węgla w trakcie odgazowania i spalania. Projekt badawczy KBN PAN nr 8 T10B 025 13 realizowany w latach 1997 – 2000 (główny wykonawca).
- Chemia perspektywicznych procesów i produktów konwersji węgla. Projekt badawczy NCBiR nr PBZ-MeiN-2/2/2006. Zadanie 1.5. „Opracowanie ciśnieniowego hydrozgazowania węgla przy dużych szybkościach transportu ciepła" wykonywane w latach 2007-2010 (główny wykonawca).

W latach 2002 – 2003 kierowałem projektem badawczym własnym

- Kinetyka tworzenia tlenków azotu w procesie ciśnieniowego spalania węgla. Projekt badawczy KBN PAN nr 4 T10B 029 22.

Obecnie uczestniczę jako wykonawca w realizacji projektu

- Prognozowanie trwałości komponentów budowlanych eksponowanych na czynniki atmosferyczne na podstawie testów przyspieszonego starzenia. Projekt badawczy NCBiR nr PBU-33/RB9/2010 w latach 2010 – 2013.

Od roku 2010 kieruję częścią strategicznego projektu badawczego NCBiR nr SP/B/5/68017/10 Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków. Zadanie badawcze nr 5: Zoptymalizowanie zużycia energii elektrycznej w budynkach. Całość projektu jest realizowana przez konsorcjum, w skład którego wchodzą następujące podmioty: Politechnika Śląska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie oraz Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum Sp. z o.o. w Katowicach. Część projektu wykonywana przez kierowany przeze mnie zespół z Politechniki Śląskiej dotyczy ograniczenia zużycia energii w kształtowaniu środowiska wewnętrznego budynków oraz zintegrowanych układów pozyskiwania ciepła i chłodu z wykorzystaniem energii słonecznej.

W początkowych latach pracy na uczelni uczestniczyłem w pracach nad odgazowaniem i zgazowaniem węgla oraz tworzeniem się i destrukcją zanieczyszczeń w procesach spalania paliw gazowych i ciekłych. Był to jeden z głównych kierunków badawczych Katedry Energetyki Procesowej. Wtedy też zainteresowałem się kinetyką procesów spalania, badaniami struktury wewnętrznej węgla oraz wpływem ciśnienia i temperatury na konwersję paliwa stałego w trakcie odgazowania i spalania. Rozpocząłem intensywne studia literaturowe, które pozwoliły mi wytyczyć kierunek i zakres przyszłych badań. Zainteresowanie tymi problemami kierownika Katedry Energetyki Procesowej profesora

Jerzego Tomeczka nadało dynamiki mojemu rozwojowi naukowemu i postępowi prac badawczych. Ostatecznie swoją aktywność naukową postanowiłem związać ze wspomnianą tematyką badawczą, bliżej opisaną w dalszej części autoreferatu [9, 10].[1]

Rozwój przemysłowych technologii spalania węgla zmierza obecnie głównie w kierunku rozwiązań proekologicznych oraz podyktowanych ekonomicznie uzasadnioną oszczędnością surowców energetycznych. Intensywnie badane i rozwijane są między innymi takie technologie, jak: spalanie w kotłach na parametry nadkrytyczne, spalanie w pętli chemicznej, spalanie w czystym tlenie oraz prowadzenie procesu przy podwyższonym ciśnieniu. Wzrost ciśnienia w komorze spalania prowadzi do podniesienia sprawności procesu i w konsekwencji do zmniejszenia zużycia paliwa i ograniczenia emisji CO_2. Jednocześnie pojawia się problem, czy i w jakim stopniu podwyższone ciśnienie wpływa na emisje innych zanieczyszczeń gazowych, w szczególności tlenków azotu. Tlenki azotu należą do tych zanieczyszczeń emitowanych z komór spalania, które stwarzają największe zagrożenie dla środowiska, zwłaszcza w skali globalnej. Rozwiązanie zarysowanego wyżej problemu oraz opracowanie właściwego modelu kinetycznego wymaga dokładnego przebadania wpływu ciśnienia na przebieg wszystkich procesów fizykochemicznych, zachodzących w ziarnach paliwa oraz ich otoczeniu. Podczas spalania węgla tlenki azotu powstają częściowo w wyniku utleniania azotu z powietrza do spalania, a częściowo z azotu zawartego w paliwie. Modelowanie tej drugiej ścieżki wymaga głębokiej wiedzy na temat form występowania azotu w węglu, reaktywności grup funkcyjnych oraz ich zachowania się podczas wstępnego procesu pirolizy i późniejszego etapu spalania powstałego karbonizatu. Prezentowane w literaturze wyniki badań w tym zakresie wykazują jeszcze wiele rozbieżności i sprzeczności. Zwłaszcza w przypadku spalania ciśnieniowego brak jest kompleksowych opracowań modeli kinetycznych tworzenia się NO i N_2O. Twórcy modeli często w opisie poszczególnych etapów procesu korzystali z wyników eksperymentów wykonywanych dla różnych węgli. Własne badania modelowe przeprowadziłem w oparciu o wyniki eksperymentów, podczas których wszystkie badania cząstkowe były prowadzone przy użyciu tego samego węgla wyjściowego.

Większość badaczy zgadza się co do tego, że powstawanie tlenków azotu powinno być opisane na podstawie dyfuzji wewnętrznej i reakcji chemicznej w porach. Ze względu na zmienny współczynnik dyfuzji w czasie nagrzewania węgla i późniejszego spalania karbonizatu, niezbędne jest staranne opisanie struktury porowatej ziaren paliwa w trakcie jego

[1] Numeracja pozycji literaturowych identyczna jak w wykazie opublikowanych prac naukowych (Załącznik 3).

termicznej konwersji. Prace nad pirolizą wybranych węgli krajowych pozwoliły mi na opracowanie modelu kinetycznego odgazowania i zmian struktury wewnętrznej w szerokim zakresie parametrów odgazowania [11].

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań sformułowałem pogląd, że ewolucja struktury porów przebiega w dwóch etapach. W pierwszym etapie zachodzą intensywne zmiany porowatości związane z wydzielaniem się części lotnych, po czym następuje drugi etap powolnych i znacznych zmian porowatości. Zarówno przy ciśnieniu 0.1 MPa, jak i 1.0 MPa dominującą grupę wymiarową porów w karbonizacie powstałym po odgazowaniu stanowią pory o średnicach w zakresie 300-5000 nm, których udział w porowatości węgla źródłowego jest znikomy. Dominująca w węglu źródłowym grupa porów o średnicach od 5 nm do 30 nm zapada się prawie całkowicie przy obydwu wartościach ciśnienia. Z porównania zmiany średniego promienia porów w czasie odgazowania dla ciśnienia 0.1 MPa i 1 MPa wynika, że o ile w przypadku ciśnienia 0.1 MPa zmiana tego promienia nadąża za ewolucją porowatości w czasie, to przy ciśnieniu 1 MPa przyrost średniego promienia porów zdecydowanie wyprzedza rozwój porowatości. Ogólnie ciśnienie ma niewielki wpływ na zmianę porowatości całkowitej karbonizatów. Największe zmiany występują w zakresie ciśnień 0.5-1.5 MPa. Dalszy wzrost ciśnienia pirolizy ma znikomy wpływ na zmniejszenie porowatości całkowitej karbonizatów. Wyniki badań zostały zaprezentowane na konferencjach: 8th International Conference on Coal Science w 1995 roku w Oviedo [2], 14th International Symposium on Combustion Processes w 1995 w Częstochowie [5], podczas V-ego Seminarium Naukowego „Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej” w 1997 roku w Katowicach [6] oraz w postaci abstraktu w Fuel and Energy Abstracts w 1996 roku [1].

Model kinetyczny ewolucji struktury porów z powodzeniem zastosowałem również w innej dziedzinie – budownictwie, do prognozowania trwałości materiałów budowlanych, zwłaszcza mineralnych tynków zewnętrznych. Kluczowym zagadnieniem w tych zastosowaniach jest określanie czasu użytkowania materiałów (szacowania trwałości w czasie). Pod uwagę bierze się porowatość, mierzoną w odstępach czasowych dla reprezentatywnych typów wypraw tynkowych poddanych testom starzeniowym w środowiskach naturalnym i symulowanym. Na tej podstawie określa się zależności szybkości zmian porowatości od parametrów środowiska. Uzyskane wyniki i związki modelowe stanowią opis trwałości materiałów. Można je też wykorzystać do prognozowania tej właściwości na podstawie krótkotrwałego testu laboratoryjnego. Z tego zakresu działalności badawczej powstały trzy publikacje: w Materiałach Budowlanych w 2002 roku [24], w

Cement and Concrete Composites w 2005 roku [15], w Construction and Building Materials w 2009 roku [16] oraz na XI Seminarium Naukowym „Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej" w 2003 roku w Katowicach [48]. Obecnie kontynuuję te prace w ramach projektu NCBiR nr PBU-33/RB9/2010 pt. „Prognozowanie trwałości komponentów budowlanych eksponowanych na czynniki atmosferyczne na podstawie testów przyspieszonego starzenia". Prowadzę badania porozymetryczne oraz prace nad modelowaniem ewolucji porów w długich okresach czasu.

Istotnym elementem badań procesu pirolizy jako etapu cząstkowego procesu spalania było określenie wpływu szybkości nagrzewania na jakościowy i ilościowy skład produktów odgazowania. Przeprowadzone badania wykazały, że wpływ ten nie jest jednoznacznie określony. Zależy głównie od temperatury końcowej, wielkości ziarna i zawartości części lotnych. Istotne znaczenie dla poprawności uzyskiwanych wyników ma wybór metodyki pomiarowej. Ciśnienie w nieznacznym stopniu wpływa na obniżenie intensywności wyzwalania się części lotnych. Wpływ ten zaznacza się wyraźniej przy wyższych szybkościach nagrzewania. Ewolucja struktury porów wykazuje opóźnienie w stosunku do szybkości ubytków masy. Opracowany model własny szybkości uwalniania się części lotnych z węgla podczas jego odgazowania w sposób zadowalający opisywał wyniki eksperymentów dla wybranych polskich węgli energetycznych w zakresie ciśnień 0.1-1.0 MPa i temperatury 1073-1373 K. Efekty tych badań były prezentowane na 9th International Conference on Coal Science w 1997 roku w Essen [3]. Po wykonaniu uzupełniających eksperymentów w latach 2001-2002 i korekcie modelu powstała publikacja w czasopiśmie Fuel w 2003 roku [14].

W wyniku doświadczeń zdobytych podczas realizacji wymienionych wyżej projektów badawczych, przebudowałem i zmodernizowałem stanowisko badawcze z reaktorem ciśnieniowym. Dokonane modernizacje umożliwiły wykonanie następnych projektów badawczych, których celem było zbadanie wpływu ciśnienia na kinetykę konwersji azotu w trakcie odgazowania i spalania węgla [12, 62]. Po zakończeniu realizacji tych projektów, stanowisko to wykorzystałem również do badań nad analizą ciekłych i gazowych produktów termicznej konwersji paliw stałych.

Prezentowane w literaturze badania mechanizmu wyzwalania się azotu paliwowego i jego konwersji w procesach odgazowania i spalania opierały się najczęściej na pomiarach dokonywanych w warunkach izotermicznych po osiągnięciu końcowej temperatury nagrzewania próbek węgla. W badaniach własnych zdecydowałem wykonać serie eksperymentów, podczas których przerywano proces i analizowano próbki również w trakcie etapu nagrzewania materiału wsadowego. Umożliwiło to bardziej precyzyjne wyznaczenie

wartości stałych kinetycznych procesu. Możliwe było bowiem oddzielenie zależności temperaturowych od czasowych dla poszczególnych reakcji. Na podstawie analizy wyników eksperymentów i badań modelowych wykazałem, że azot z węgla generalnie uwalnia się w dwóch etapach. Wstępnie, śladowe ilości azotu wydzielają się w zakresie niskich i średnich temperatur, głównie w produktach smolistych. Największe różnice w krzywych kinetycznych wyzwalania azotu, ubytku masy i zmian porowatości występują w trakcie narastania temperatury, a w okresie izotermicznego wygrzewania procesy kinetyczne ulegają wygaszeniu. Wyniki tych badań zostały zaprezentowane na dwóch konferencjach: 10th International Conference on Coal Science w 1999 roku w Taiyuan [4] oraz na VII Seminarium Naukowym „Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej" w 1999 roku w Katowicach [7]. Po uzupełnieniu o dodatkowe serie eksperymentów oraz po dokonaniu korekty modelu kinetycznego dla lepszego dopasowania modelu do wyników eksperymentów, wyniki te zostały również opublikowane w czasopiśmie Karbo w 2005 roku [26] oraz w materiałach VIII-go Seminarium Naukowego pn. „Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej" organizowanego w 2005 roku w Katowicach [50].

W ramach projektu KBN PAN Nr 8 T10B 025 13 przeprowadzone zostały także wstępne eksperymenty spalania karbonizatu z pomiarem koncentracji NO i N_2O w produktach gazowych. Opracowana została wstępna wersja modelu tworzenia się tlenków azotu w procesie ciśnieniowego spalania węgla, a także podstawowe równania kinetyczne oraz korekta współczynników głównych reakcji tak, aby uniezależnić ich wartości od ciśnienia.

Końcowym rezultatem prezentowanych wyżej wieloletnich prac eksperymentalnych i modelowych była praca doktorska (pt. „Badanie wpływu ciśnienia na kinetykę konwersji azotu z węgla w trakcie odgazowania i spalania") obroniona z wyróżnieniem w 2000 roku. Ponadto ich wyniki były również przedmiotem publikacji w Proceedings of the 11th International Conference on Coal Science w San Francisco w 2001 roku [40] oraz w materiałach IX-go Seminarium Naukowego pn. „Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej" zorganizowanego w 2001 roku w Katowicach [46].

Bezpośrednio po obronie pracy doktorskiej dokonałem kolejnych modyfikacji stanowiska badawczego oraz rozpocząłem eksperymenty redukcji tlenku azotu na powierzchni karbonizatów. Ich celem było wyznaczenie współczynnika kinetycznego reakcji redukcji dla potrzeb modelu ciśnieniowego spalania węgla [8]. Eksperymenty wykazały niezależność parametrów kinetycznych reakcji od ciśnienia w badanym zakresie ciśnień od 0.1 MPa do 1.5 MPa. Potwierdziły również, że szybkość redukcji NO w kontakcie z karbonizatem jest kontrolowana przez kinetykę reakcji chemicznej oraz dyfuzję reagentów gazowych w porach

ziarna i żaden z tych dwóch procesów nie może być pominięty w modelowaniu. W efekcie realizacji tych badań powstał artykuł opublikowany w Combustion and Flame w 2001 roku [13]. Wyniki eksperymentów były również prezentowane na The First UCF - SUT Seminar w Niedzicy w 2002 roku [44], oraz na 18th International Symposium on Combustion Processes w Ustroniu [45] i na 12th International Conference on Coal Science, Cairns [41] w 2003 roku. Równolegle z pracami dla NO rozpocząłem badania eksperymentalne redukcji tlenku diazotu. Badania te kontynuowałem w ramach projektu BW-472/RM-4/2004 [64] zakończonego w 2004 roku. Również w tym przypadku została potwierdzona niezależność stałych kinetycznych reakcji redukcji od ciśnienia. W wyniku badań ukazała się publikacja w czasopiśmie The Holistic Approach to Environment w 2012 roku [21]. Należy podkreślić, że w obydwu seriach eksperymentów, z NO i z N_2O, karbonizaty były przygotowywane przy zachowaniu takich samych parametrów, przy jakich prowadzone były później badania redukcji.

W latach 2002-2003 kierowałem projektem badawczym KBN PAN nr 4 T10B 029 22 pt. „Kinetyka tworzenia tlenków azotu w procesie ciśnieniowego spalania węgla" [63]. Zdobyte wcześniej doświadczenia umożliwiły mi zaprojektowanie i zbudowanie nowego stanowiska badawczego wyposażonego w analizatory gazów z możliwością ciągłej rejestracji danych. W oparciu o fundamentalne dla całego zamierzenia badawczego eksperymenty spalania rozbudowywałem i zweryfikowałem model kinetyczny tworzenia się NO, N_2O i N_2 w trakcie spalania karbonizatu. Oszacowałem wartości sumy centrów aktywnych oraz opracowałem zależność szybkości reakcji od cech strukturalnych ziarna węgla podczas procesu jego termicznej konwersji. Wyniki tych prac zostały zaprezentowane na X i XII Seminarium Naukowym „Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej" [47, 49] w latach 2002 i 2004 oraz opublikowane w czasopismach: Karbo [25] i Ekologia [28] w roku 2005.

Znaczną część czasu i wysiłku badawczego poświęciłem zagadnieniom koncentracji centrów aktywnych i zmian porowatości oraz ich znaczenia dla modelowania szybkości reakcji chemicznych na powierzchni karbonizatów. W dostępnej literaturze niewiele jest informacji dotyczących koncentracji miejsc aktywnych w karbonizatach. Większość z nich dotyczy pirolizy węgla podczas przygotowywania karbonizatów do hydrozgazowania. Ponadto modelowanie procesów z reakcją chemiczną na powierzchni ziarna węgla powinno uwzględniać rzeczywiste właściwości ziarna. Szczególnie istotna jest struktura porów w ziarnie i wynikająca z niej liczba atomów węgla zdolna w danych warunkach utworzyć trwałe produkty rozważanych procesów. Właściwości powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej

ziarna oraz rozkład przestrzenny porów w bezpośrednim sąsiedztwie wolnej przestrzeni gazowej determinują występowanie stref dostępu reagentów gazowych. Dokładne określenie struktury powierzchniowej w powiązaniu z mechanizmem reakcji heterogenicznych na powierzchni ziarna umożliwiłoby stworzenie jednolitego modelu odgazowania, zgazowania i spalania węgla. Był to jeden z głównych celów, jaki przyświecał mi w trakcie pracy nad zmianą centrów aktywnych. Etap ten był również ostatnim etapem w budowie kinetycznego modelu tworzenia się tlenków azotu w trakcie ciśnieniowego spalania węgla. Zaproponowano zależność wiążącą sumę centrów aktywnych z polem powierzchni wewnętrznej ziarna oraz jego gęstością, porowatością i rozmiarem. Dobrze opisuje ona zmiany sumy centrów aktywnych podczas procesu termicznej konwersji węgla. Rezultatem tych prac były dwa artykuły opublikowane w czasopismach: Karbo [31] w roku 2010 i Chemical and Process Engineering [18] w 2011 roku.

Efektem końcowym opisanych wyżej wieloletnich badań eksperymentalnych i modelowych było dopracowanie i zamknięcie modelu kinetycznego tworzenia się NO, N_2O i N_2 podczas spalania karbonizatu. W odróżnieniu od większości modeli opisywanych w dostępnej literaturze, model ten uwzględnia zmienność powierzchni wewnętrznej ziarna z przebiegiem procesu. Porowatość i wartości współczynników efektywności wykorzystania powierzchni uzależnia od stopnia przereagowania ziarna. W konsekwencji uwzględnia również zmienność sumy koncentracji wszystkich centrów aktywnych. Testowanie wpływu wybranego rozwiązania wykazało istotną wrażliwość wyników modelowania na te parametry. Pozwala to przypuszczać, że uzmiennienie sumy koncentracji centrów aktywnych ze stopniem wypalenia ziarna wnosi do rozwiązania jakościowo nowe informacje. Wyniki prac modelowych opublikowałem w czasopiśmie Acta Metallurgica Slovaca [19] w 2011 roku. Są one także treścią jednego z rozdziałów monografii Fossil Fuel and the Environment [60] wydanej w 2012 roku.

W latach 2007-2010 byłem głównym wykonawcą zadania 1.5 pt. „Opracowanie ciśnieniowego hydrozgazowania węgla przy dużych szybkościach transportu ciepła” realizowanego w ramach projektu badawczego PBZ-MeiN-2/2/2006 „Chemia perspektywicznych procesów i produktów konwersji węgla” [65]. Badania nad zgazowaniem węgla wodorem stanowiły duże wyzwanie intelektualne i technologiczne. Zaprojektowałem stanowisko umożliwiające wykonywanie badań eksperymentalnych hydrozgazowania karbonizatów węgli kamiennych i brunatnych w zakresie temperatury do 1000°C i ciśnienia do 10 MPa z ciągłą analizą składu gazów procesowych i mikroprocesorowym systemem monitorująco-rejestracyjnym. Nadzorowałem także budowę stanowiska. Przeprowadziłem

eksperymenty hydrozgazowania karbonizatów w zakresie temperatury 700 - 900°C, ciśnienia 6 - 8 MPa. Proces przebiegał w atmosferze wodoru rozcieńczonego CO_2. Strumień wodoru zmieniano w zakresie 0,5 - 5 dm_n^3/min. Opracowany został model kinetyczny procesu z zastosowaniem współczynnika efektywności wykorzystania powierzchni ziarna oraz sumy centrów aktywnych. W oparciu o wyniki badań eksperymentalnych i specjalnie do tego celu stworzony program komputerowy wyznaczone zostały współczynniki kinetyczne głównych reakcji tworzenia się gazowych produktów hydrozgazowania. Podsumowując, do głównych efektów realizacji projektu zaliczyć można: projekt i budowę stanowiska badawczego, opracowanie równań kinetycznych hydrozgazowania karbonizatów i wyznaczenie współczynników kinetycznych reakcji, określenie wpływu dodatku CO_2 na ilość powstającego metanu w procesie ciśnieniowego hydrozgazowania oraz wyznaczenie reaktywności karbonizatów węgli w stosunku do wodoru. Ustalono także, że w procesie hydrozgazowania reaktywność karbonizatów spada po przekroczeniu pewnego stopnia przereagowania zależnego od temperatury. Przeprowadzono dyskusję uwarunkowań technologicznych procesu hydrozgazowania. W rezultacie tych badań został wygłoszony referat na konferencji Chemia Węgla [54] w Wiśle w 2010 roku, powstały dwie publikacje w czasopismach: Karbo [29] i Fuel Processing Technology [17] w 2010 roku oraz rozdział w I tomie monografii „Studium koncepcyjne wybranych technologii, perspektywicznych procesów i produktów konwersji węgla - osiągnięcia i kierunki badawczo-rozwojowe" zatytułowanym „Zgazowanie węgla" [58].

Obecnie kieruję częścią zadania badawczego „Zoptymalizowanie zużycia energii elektrycznej w budynkach" strategicznego projektu NCBiR nr SP/B/5/68017/10 pod ogólnym tytułem „Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków". Celem zadania jest: opracowanie wytycznych projektowych ukierunkowanych na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej w instalacjach technicznych budynków, w tym opracowanie wskaźnika maksymalnego jednostkowego zużycia energii elektrycznej dla różnych typów obiektów i opracowanie wytycznych dotyczących eksploatacji budynków pod kątem minimalnego zużycia energii elektrycznej przydatnych dla zarządców i użytkowników budynków. Zakres kierowanych przeze mnie prac obejmuje: opracowanie charakterystyk energetycznych wybranych budynków, wykonanie analizy głównych czynników wpływających na zużycie energii cieplnej w tych budynkach, charakterystykę systemów ogrzewania i wentylacji pod kątem zużycia energii i oddziaływania na środowisko, porównanie systemów ogrzewania i wentylacji pod kątem ograniczenia zużycia energii. Efektem dotychczasowych badań było opracowanie potencjału zmniejszenia zużycia energii

w systemach kształtowania środowiska wewnętrznego budynków. Zaprojektowano i zbudowano instalację laboratoryjną do pozyskiwania ciepła i chłodu, działającą w oparciu o technologię termiczną pozyskiwania chłodu i sprzężoną z kolektorem słonecznym. Przeprowadzono eksperymenty wstępne oraz analizę energijną procesu na podstawie bilansów masy i substancji poszczególnych elementów układu. Opracowano charakterystyki głównych elementów instalacji: układu konwersji energii promieniowania słonecznego (kolektora i panelu fotowoltaicznego) oraz układu pozyskiwania chłodu. Oszacowany na tej podstawie współczynnik efektywności procesu pozyskiwania chłodu kształtował się na poziomie 0,45. Zaproponowano projekt dużej instalacji przeznaczonej dla budynku biurowego. W wyniku realizacji projektu powstały następujące publikacje: dwa referaty na konferencjach krajowych [55, 56] i jeden na konferencji zagranicznej [42] oraz artykuły w czasopismach: GLOBEnergia [34], Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja [35], Wiadomości Projektanta Budownictwa [36, 37, 39], Acta Metallurgica Slovaca [20], The Holistic Approach to Environment [22], Acta Mechanica Slovaca [23], Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 271 [32] i nr 283 [38] i i w monografii pt. „Zarządzanie informacją i energią w systemie bezpieczeństwa Unii Europejskiej" [59]. W 2012 roku wygłosiłem referat na konferencji International Conference on Innovative Technologies [43] w Chorwacji.

Jestem także współautorem następujących publikacji: artykułu powstałego w wyniku mojego promotorstwa nad realizacją pracy magisterskiej [28], artykułów prezentujących wyniki niektórych prac badawczych wykonywanych na rzecz przemysłu [30, 33, 57] oraz prac studialnych [53] i modelowych [51, 52].

Badania prowadzone w ramach wymienionych wyżej projektów i prac badawczych zaowocowały szeregiem publikacji prezentowanych w czasopismach krajowych i zagranicznych oraz na konferencjach naukowych w kraju i za granicą. Jestem autorem lub współautorem 66 publikacji, w których przedstawiono wyniki zrealizowanych badań, a także propozycje nowych rozwiązań technicznych i udoskonaleń niektórych procesów technologicznych. Spośród 54 pozycji opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, 6 ukazało się w czasopismach znajdujących się na tzw. liście filadelfijskiej lub Journal Citation Reports (JCR) podanej przez MNiSW,: *Combustion and Flame (40 pkt), Fuel (40 pkt), Cement and Concrete Composites (40 pkt), Construction and Building Materials (35 pkt), Fuel Processing Technology (40 pkt), Chemical and Process Engineering (15 pkt),*. 19 artykułów ukazało się w czasopismach spoza listy filadelfijskiej: *Acta Metallurgica Slovaca, The Holistic Approach to Environment, Acta Mechanica Slovaca, Materiały*

budowlane, *Karbo*, *Ekologia*, *Czasopismo Techniczne – Środowisko*, *Rudy i Metale Nieżelazne*, *GLOBEnergia*, *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, *Wiadomości Projektanta Budownictwa*. Wygłosiłem 4 referaty na konferencjach zagranicznych, 2 na konferencjach międzynarodowych w kraju oraz 11 na konferencjach krajowych. Jestem współautorem fragmentów zamieszczonych w trzech monografiach, współautorem jednego podręcznika akademickiego oraz autorem jednego rozdziału w książce pt. „Fossil Fuel and the Environment" wydanej w języku angielskim. Powyższy rozdział w internetowej części Wydawnictwa „InTech" (w systemie „open access") miał ponad 1000 pobrań, z czego 142 z USA, 57 z Chin, 54 z Indii, 26 z Niemiec i 25 z Polski. Samodzielnie opublikowałem 15 artykułów, w tym 2 w czasopismach zagranicznych, 3 w czasopismach krajowych, 4 w materiałach konferencji zagranicznych, 5 w materiałach konferencji krajowych i 1 rozdział w książce. Byłem recenzentem dwóch artykułów w czasopismach *The Holistic Approach to Environment* oraz *Hutnik*. Moje prace były zacytowane 35 razy. Zbiorcze przedstawienie publikacji i najważniejszych osiągnięć naukowych oraz listę cytowań przedstawiłem w załączniku 5. Za działalność naukowo-badawczą otrzymałem w 2000 roku Nagrodę Rektora Politechniki Śląskiej II stopnia.