

AUTOREFERAT

Małgorzata PILAWSKA

Kraków, 11 lipca 2014

AUTOREFERAT

A. Dane podstawowe

1. Imię i Nazwisko	Dr inż. Małgorzata Pilawska
Stanowisko:	adiunkt
Miejsce pracy:	Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki Wydział Inżynierii Środowiska Instytut Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza Katedra Procesów Ciepłych, Ochrony Powietrza i Utylizacji Odpadów ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków tel.: +48 12 628 2089 e-mail: mpilawsk@pk.edu.pl

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

2.1. Magister inżynier specjalności Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Sanitarnej i Wodnej, 1980. Temat pracy magisterskiej: *Analiza przydatności wapna pokarbidowego do odsiarczania spalin ze spalania paliw w technologii FBC*. Promotor: Dr inż. Stanisław Kandefer, Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki. Ocena pracy dyplomowej: bardzo dobry.

2.2. Doktor Nauk Technicznych w dyscyplinie Technika Ciepła, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, 1996. Temat pracy doktorskiej: *Spalanie paliw gazowych w złożu fluidalnym*. Promotor: Prof. dr hab. inż. Stanisław Kandefer, Politechnika Krakowska. Recenzent zewnętrzny: Prof. dr hab. inż. Stanisław Słupek, AHG. Recenzent wewnętrzny: Prof. dr hab. Elżbieta M. Bulewicz, Politechnika Krakowska. **Praca wyróżniona** uchwałą Rady Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej im. T. Kościuszki.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

1980-1981	Inżynier, technolog. Przedsiębiorstwo "MONTGIPS" Sosnowiec, oddział w Krakowie, roczny staż przemysłowy
1981-1986	<i>Urlopy: macierzyńskie i wychowawcze</i>
1981-1990	Pracownik naukowo-badawczy, Politechnika Krakowska, Zakład Wentylacji i Ogrzewnictwa
1990-1998	Asystent, Politechnika Krakowska, Instytut Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza
1998-nadal	Adiunkt, Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki, (w tym: 2009-2011 urlop dla poratowania zdrowia)

3a. Działalność w sferze organizacji badań naukowych i zarządzania

1990-nadal	Członek międzywydziałowego zespołu badawczego LBSF (L aboratorium B adania S palania F luidalnego), kierowanego obecnie przez Prof. W. Żukowskiego, wcześniej Prof. S. Kandefera, i wcześniej Prof. E.M. Bulewicz
1992-1998	Asystent Dyrektora Instytutu Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza ds. dydaktycznych, PK
1993-1994	p.o. Kierownika Zakładu Pomiarów Ciepłych, Miernictwa i Ochrony Powietrza
1999-2003	Sekretarz Wydziału ds. Wniosków DS i BW Wydziału do KBN
2000–2006	Członek Senackiej Komisji Współpracy Międzynarodowej PK, dwie kadencje
2006-2009	Członek Grupy Doradców przy Przewodniczącym Komisji Europejskiej J. M. Barroso ds. Zmiany Klimatu i Energii w kadencji 2006-2009
2014-2019	Członek Zarządu Polskiego Instytutu Spalania, Sekretarz Zarządu

Staż krótkoterminowy	Wielka Brytania, Prof. A.N. Hayhurst , Uniwersytet Cambridge, 1996	30 dni
	Portugalia, Prof. M.G. Carvalho , Lizboński Uniwersytet Techniczny, 1998	7 dni
	Dania, wyjazd studyjny, spalarnie odpadów, 2000	7 dni
	Niemcy, Lubeka, Grundfos, wyjazd studyjny, 2003	7 dni
	Szwecja, Prof. E. Płaza , KTH, Sztokholm, wyjazd studyjny, 2012	5 dni
Staż długoterminowy	ChRL, Prof. G. X. Yue , Uniwersytet Tsinghua, po kilka miesięcy w latach	2004-2008

B. 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.)

a) Tytuł osiągnięcia naukowego:

Emisja tlenków azotu i tlenku diazotu towarzysząca energetycznemu wykorzystaniu paliw

b) Podstawą do ubiegania się przeze mnie o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska jest monografia i cykl artykułów, w których opublikowano rezultaty badań:

1. MONOGRAFIA **M. Pilawska:** Emisja tlenku diazotu towarzysząca energetycznemu wykorzystaniu paliw. Monografia nr 448: Wydawnictwo Politechnika Krakowska, Seria Inżynieria Środowiska, ss. 118, Kraków 2013, ISSN 0860-097X

2. Cykl oryginalnych naukowych prac twórczych cytowanych w Autoreferacie, będących podstawą wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego

- 2.1. M. Pilawska, H. Zhang, X. S. Hou, J. F. Lu: Destruction of N₂O over Different Bed Materials, Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion, ISBN 978-7-302-20146-5, Ed. G.X. YUE, Ed. Springer, Vol. II, pp.953-960, 2009 (35%)**
- 2.2. X.S. Hou, H. Zhang, M. Pilawska, J.F. Lu, G.X. Yue: The formation of N₂O during the reduction of NO by NH₃, Fuel, Vol.87, pp. 3271-3277, 2008 (JCR 2.536) (35%)**
- 2.3. M. Pilawska, J.F. Lu, G.X. Yue, S. Kandefer: FBC Technology in Waste Combustion – Focus on Emission. Archivum Combustionis, ISSN 0208-4198, Vol.26, No3-4, pp.145-161, 2006 (MNiSzW 2007 3/2013 7pkt) (35%)**
- 2.4. M. Pilawska, J. Baron, W. Żukowski: Combustion of aromatics and esters in an atmospheric bubbling fluidized bed combustor in comparison with that of natural gas. Clean Air International Journal on Energy for a Clean Environment, Ed. Bell House, Inc., ISSN 1561-4417, Vol.6, No 5, pp.113-123, 2005 (MNiSzW 6 pkt) (JCR 0.067) (30%)**
- 2.5. E.M. Bulewicz, S. Kandefer, M. Pilawska, W. Żukowski, J. Baron: FBC-Laboratory Scale Research To Small Scale Practical Operation, Proceedings of 18th International Conference on Fluidized Bed Combustion, 22-25 May 2005, Toronto, Ontario, Canada, pp.1-8, 2005 (20%)**
- 2.6. M. Pilawska, J. Baron, W. Żukowski, S. Kandefer: The Use of AB FBC for the Utilization of Raw Animal Wastes. Special Selection Combustion and Energy Utilisation, The Hong Kong Institution of Engineers, HKIE Transactions, Vol.12, No 3, pp.37-41, ISSN 1023-697X, 2005 (30%)**
- 2.7. M. Pilawska, E. M. Bulewicz: Combustion of Gases in a Bubbling Fluidized Bed Any Practical Potential. 4th International Colloquium: Fuels 2003, Ed. Wilfried J. Bartz, ISBN: 3-924813-51-5, Technische Akademie Esslingen, Ostfildern, pp.339-348, 2003 (MNiSzW 3 pkt) (80%)**
- 2.8. S. Kandefer, M. Pilawska: Fluidized Bed Combustion of Gaseous Fuels. 3rd Book of the series "Energy, Combustion and the Environment" Ed. Taylor & Francis, No.8, pp.1129-1143, ISBN 1-56032-977-7, 2002 (MNiSzW 3 pkt) (50%)**
- 2.9. J. Baron, E.M. Bulewicz, W. Żukowski, S. Kandefer, M. Pilawska: Combustion of Hydrocarbon Fuels in a Bubbling Fluidized Bed. Combustion and Flame, Ed. Elsevier Science Inc., Vol.128, pp.410-421, 2002 (JCR 1.426) (30%)**

C. Omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Pracę naukową podjęłam jeszcze podczas studiów na Wydziale Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Krakowskiej, angażując się w badania laboratoryjne i opracowania raportów, między innymi: „*Emisja SO₂ ze spalania paliw w technologii FBC*”. Udział w projekcie oceny szkodliwości warunków pracy na poszczególnych stanowiskach w Tarnowskich Zakładach Azotowych pozwolił mi na praktyczne zapoznanie się ze specjalistyczną aparaturą pomiarową. Stopień magistra inżyniera o specjalności inżynieria środowiska uzyskałam po obronie pracy: „*Analiza przydatności wapna pokarbidowego do odsiarczania spalin ze spalania paliw w technologii FBC*” w roku 1980. Po 6. letniej przerwie, urlopy: macierzyńskie i wychowawcze, powróciłam do pracy i podjęłam współpracę z międzywydziałowym zespołem naukowym kierowanym wtedy przez Panią Prof. Elżbietę M. Bulewicz. Początkowo brałam udział w projektach, które dotyczyły spalania węgla oraz odsiarczania spalin w technologii fluidalnej. Uczestniczyłam w pracach projektowych do powstających przemysłowych instalacji w technologii FBC, wdrażanych przez Prof. Stanisława Kandefera.^{1,2,3,4,5} W tym okresie uczestniczyłam w realizacji projektu instalacji do utylizacji niedopałów po spalaniu węgla w kotle rusztowym z odzyskiem ciepła przeznaczonego na potrzeby stołówki PK (w pełni zautomatyzowane przedpalenisko FBC).⁶ Zespół, do którego dołączyłam, równolegle prowadził badania w skali laboratoryjnej, z wykorzystaniem paleniska wybudowanego przez Prof. Stanisława Kandefera jeszcze w roku 1976. Palenisko było pierwotnie używane do spalania węgla, a po niewielkich modyfikacjach można je zasilać w sposób ciągły paliwem w każdym stanie skupienia. Jest ono do dziś wykorzystywane i ze względu na swoje cechy unikalne w świecie. Palenisko nie posiada zewnętrznego źródła ogrzewania, a kontrolę temperatury w nim uzyskuje się zwiększając lub obniżając straty ciepła przez promieniowanie do otoczenia. Dodatkową jego zaletą są przezroczyste ściany ze szkła żaroodpornego, umożliwiające obserwację i dokumentowanie wizualne etapów procesu.⁷ Badania laboratoryjne spalania paliw gazowych w warstwie fluidalnej rozpoczęto w latach 70. (CH₄, R.H Essenhigh 1972 r; LPG, Singh 1975 r; C₃H₈, Achara 1986 r; pierwszy model spalania gazów w FBC, Janata 1975 r). W Politechnice Krakowskiej rozpoczęto badania laboratoryjne w roku 1993 a temat mojej pracy doktorskiej o możliwości utylizacji odpadów gazowych w pęcherzowej warstwie fluidalnej (A BFBC) był z nimi związany.⁸ Technologię

¹ Bulewicz E.M., Kandefer S., Juryś C., Dzikowska J., **Pilawska M.**: Budowa kotła fluidalnego w MS Kraków. Etap I. Sprawozdanie nr W-3/Z/212/88, dla Południowej Dyrekcji Okręgowej Kolei Państwowych w Krakowie. PK Kraków, 1988

² Bulewicz E.M., Dzikowska J., Juryś C., Kandefer S., Kotaś R., **Pilawska M.**, Proczek J.: Dokumentacja techniczna kotła fluidalnego KFK-S4A1. Praca bezumowna dla Przedsiębiorstwa Robót Instalacyjno-Montażowych Budownictwa Rolniczego w Słupsku. Symbol dokumentacji: KF-1, 1988

³ Bulewicz E.M., Kandefer S., Juryś C., Dzikowska J., **Pilawska M.**, Proczek J.: Budowa kotła fluidalnego w MS Kraków. Etap II i III: dokumentacja techniczna kotła. Sprawozdanie nr W-3/Z/212/88 dla Południowej Dyrekcji Okręgowej Kolei Państwowych w Krakowie. PK Kraków, 1989

⁴ Bulewicz E.M., Kandefer S., Juryś C. Dzikowska J., **Pilawska M.**: Energetyczne wykorzystanie odpadów organicznych. Etap II: Dozownik do drobnych odpadów organicznych. Sprawozdanie nr W-3/Z/65/89 dla Państwowego Ośrodka Maszynowego w Bolesławcu. PK Kraków, październik 1989

⁵ Bulewicz E.M., S. Kandefer, C. Juryś, J.Dzikowska, **Pilawska M.**, J.Proczek: Energetyczne wykorzystanie odpadów organicznych. Etap I: Opracowanie systemu sterowania paleniskiem fluidalnym o mocy 1 MW dla spalania odpadów z elektrowni "Turoszów". Sprawozdanie nr W-3/Z/65/89 dla Państwowego Ośrodka Maszynowego w Bolesławcu. PK Kraków, czerwiec 1989

⁶ Bulewicz E.M., Kandefer S., Juryś C.: Zastosowanie odpadowych żużli z palenisk rusztowych jako niskosiarkowego paliwa dla atmosferycznego kotła fluidalnego. Etap III. Budowa instalacji pilotowej. Sprawozdanie nr W-3/Z/37/85 dla Urzędu Miasta Krakowa, Wydziału Ochrony Środowiska, Gospodarki Wodnej i Geologii, PK Kraków, marzec 1988

⁷ Bulewicz, E.M., Kandefer, S., **Pilawska M.** Natural Gas Combustion in a Bed of Sand. Proceedings of the 14th International Conference on Fluidized Bed Combustion, Ed. F.D.S. Preto, ASME, Vol.2, pp. 1103-1110, Canada, 1997

⁸ Kandefer S., **Pilawska M.** (główny wykonawca): Grant promotorski KBN nr PB/345/T10/96/11. Niskoemisyjne spalanie paliw gazowych w złożu fluidalnym. Ocena końcowa: wzorowy, 1997

fluidalną, pęcherzową wybrano, ponieważ zapewnia ona dobrą wymianę ciepła, szybkie mieszanie oraz wyrównaną temperaturę w warstwie i jej sprawna kontrolę. Proces przebiega stabilnie w przedziale 800–1000°C i jest to przedział temperatury pomiędzy metodami katalitycznymi i płomieniowymi, których właściwości stanowiły punkt odniesienia do rozpoczętych badań. Odpady gazowe powstają w wielu gałęziach gospodarki i mogą być zanieczyszczonymi paliwami gazowymi lub powietrzem zanieczyszczonym węglowodorami i ich pochodnymi, o bardzo różnej kaloryczności. Zagospodarowanie takich odpadów przez utylizację termiczną może przynieść dodatkowy efekt produkcji użytecznych ilości energii. Utylizacja gazów zawierających związki organiczne daje spaliny, w których zwykle występują składniki szkodliwe, np. CO, SO₂, NO_x. Jednak dane literaturowe nie dostarczały informacji jak prowadzić proces spalania stabilnie, w niskiej temperaturze i z zachowaniem niskich emisji CO_x, NO_x.⁹ Początkowe badania miały zatem charakter rozpoznawczy a ich celem było określenie warunków koniecznych dla prowadzenia stabilnego procesu spalania oraz wpływu parametrów procesu na emisję. Spalano metan, co pozwoliło na ograniczenie ilości substratów w porównaniu z węglem. Nadmiar powietrza zmieniano w zakresie od stechiometrii do kilkukrotnego nadmiaru. Warstwę stanowił piasek (rzeczny), zawsze występujący w paleniskach FBC, oraz różne materiały wapienne, zazwyczaj stosowane do odsiarczania spalin. Wypracowano wtedy bezpieczny sposób doprowadzania mieszanki palnej do paleniska, jej zapłon oraz procedurę badawczą pozwalającą analizować proces od zapłonu do uzyskania maksymalnej temperatury. Ten etap prac badawczych pozwolił na opanowanie techniczne procesu spalania paliwa gazowego i umożliwił na zapoznawanie się z procesem fluidyzacji praktycznie, zdobywania wiedzy o metodach badawczych i pomiarowych. Wyznaczono zakres temperatury, 780–1050°C dla prawidłowego przebiegu procesu i zachowania niskich stężeń CO i NO_x w spalinach. Spośród przebadanych wówczas materiałów wybrano rodzaj i uziarnienie modelowej warstwy fluidalnej, stosowanej w badaniach przez członków zespołu do dziś. Jest to piasek rzeczny o uziarnieniu 0,385–0,430 mm. Dla innych materiałów ich uziarnienie może być inne. W wyniku kolejnego cyklu badań powstał jakościowy model procesu o charakterze heurystycznym, opisujący jego etapy z granicami wyznaczonymi przez temperaturę warstwy i parametry fluidyzacji. Dla spalania gazu w warstwie fluidalnej wyróżniono trzy etapy procesu. Pierwszy z nich obejmował zakres niskiej temperatury, od zapalenia mieszanki nad fluidyzowanym materiałem warstwy. Drugi, z pełnym rozwinięciem procesu fluidyzacji i ze spalaniem w pęcherzach głośno wybuchających w całej objętości warstwy. Trzeci etap, wysokotemperaturowy, nazwany wówczas spalaniem bezpłomieniowym, to cichy proces spalania bezpośrednio nad dystrybutorem, bez wyraźnie widocznych pęcherzy, z bardzo niską emisją mierzonych w spalinach głównych składników CO, NO i NO₂. Dyskusja otrzymanych wyników wykazała, że również dla innych badanych materiałów charakterystyczną cechą procesu było, po przejściu przez maksimum, radykalne obniżenie stężenia NO w temperaturze powyżej 850°C. W temperaturze powyżej 900°C emisja NO stabilizowała się na niższym, stałym poziomie i nie wzrastała przy podwyższaniu temperatury procesu do 1100°C.^{10,11} Rejestrowane stężenie NO₂ osiągało maksimum w przedziale temperatury 600–800°C, w którym następował spadek stężenia NO i CO. Sugerowano wówczas, że tlenek azotu jest produktem

⁹ Pilawska M., Kandefer, S.: Spalanie fluidalne paliw gazowych, Materiały Konferencji Naukowej „Inżynieria Chemiczna-Współczesne Kierunki Badawcze w Aspektach Praktycznych. Tom I, ss. 77-83, Politechnika Krakowska, Kraków, 1994

¹⁰ Pilawska M. Spalanie paliw gazowych w złożu fluidalnym. Praca doktorska. PK, WIŚ, ss. 120, 1996 (wyróżniona)

¹¹ Pilawska M., Kandefer, S., Bulewicz, E.M. Combustion of Natural Gas in a Fluidized Bed of Lime. 15th International Symposium on Combustion Processes, The Combustion Section of the Thermodynamics and Combustion Committee of the Polish Academy of Sciences, abstr., p.54, Zakopane, 8 – 12 September, 1997

pierwotnym dla syntezy NO_2 i obserwowane maksimum NO_2 może być skutkiem utleniania NO do NO_2 . Wskazano, że gdy spalano metan, to stężenie NO jest wyższe niż wynikałoby to z mechanizmu termicznego powstawania NO_x . Powyżej 900°C różnice między materiałami złożyła w stopniu konwersji paliwa uwidaczniały się bardzo słabo. Stężenie CO i węglowodorów, np. dla kalcynatu z Zabierzowa, zbliżyło się praktycznie do zera. Rola materiału warstwy uwidoczniła się w występowaniu lub nie lokalnego maksimum stężenia CO w temperaturze ok. 800°C . Efekt ten jest wyraźny i związany z uziarnieniem materiału. Uwidacznia się przy porównaniu zmian stężenia CO podczas pomiarów z zastosowaniem tego samego materiału na warstwę o różnym uziarnieniu (piasek rzeczny). Obserwacje te nie były wówczas opisane w literaturze i stały się tematem licznych wystąpień i publikacji z moim udziałem.^{12,13,14,15,16,17,18} Podjęty temat został rozwinięty przez dr Witolda Żukowskiego do stworzenia modelu spalania metanu w A BFBC, zaproponowanego w jego monografii. Zarejestrowałam na taśmie video proces fluidyzacji warstwy modelowej „na zimno”, powietrzem, i „na gorąco”, ze spalaniem metanu, od zapalenia paliwa do wygaszenia paleniska. Przygotowałam film, który jest dziś pomocą dydaktyczną dla studentów zarówno w Politechniki jak i Tsinghua. Zdjęcia po klatkowe tego filmu posłużyły do późniejszych prezentacji¹⁹ i publikacji.²⁰ Ten etap badań zaowocował powstaniem bazy danych o warunkach i parametrach prowadzonych eksperymentów, dziś są to kompletne dane z ok. 2 tys. eksperymentów.

W roku 1996 odbyłam staż naukowy u Prof. Allana N. Hayhursta w Queens' Collage na Uniwersytecie Cambridge w Wielkiej Brytanii. Kontynuowałam badania spalania metanu w palenisku starszym od wykorzystywanego w Politechnice Krakowskiej, również do dziś czynnym, ale ogrzewanym z zewnątrz i izolowanym termicznie. Wykazano wówczas, że w temperaturze powyżej 1000°C spalanie metanu zachodzi w „wolnych” pęcherzach powstających blisko dystrybutora. W niższej temperaturze zapalenie „wolnych” i „szybkich” pęcherzy jest zróżnicowane. Dla „wolnych” pęcherzy określono ich wymiar graniczny dla możliwego zapłonu. Dla pęcherzy „szybkich” wykazano, że ich zapłon zależy od czasu przebywania pęcherza w warstwie, w powiązaniu z opóźnieniem zapłonu mieszanki.²¹ Badania te stały się bezpośrednią bazą modelu spalania gazów w fluidalnej warstwie

¹² Pilawska M., Kandefer, S. The Combustion of Natural Gas in a Small Bubbling Fluidized Bed at Atmospheric Pressure. 14th International Symposium on Combustion Processes, The Combustion Section of the Thermodynamics and Combustion Committee of the Polish Academy of Sciences, abstr., p.62, wygłoszenie referatu, Częstochowa, 26 – 29 September, 1995

¹³ Bulewicz, E.M., Pilawska M., Kandefer, S. NO_x Emissions from Bubbling Fluidized Beds Burning Gaseous Fuels", 14th International Symposium on Combustion Processes, The Combustion Section of the Thermodynamics and Combustion Committee of the Polish Academy of Sciences, abstr., p.58, wygłoszenie referatu, Częstochowa, 26 – 29 September, 1995

¹⁴ Kandefer, S., Pilawska M.: Fluidized Bed Combustion of Gaseous Fuels. Third International Conference on Combustion Technologies for a Clean, Proceedings, pp. 29.4, oral presentation, 23 – 28, Lisbon, Portugal, 1995

¹⁵ Kandefer S., Pilawska M.: Fluidized Bed Combustion of Gaseous Fuels. 3rd Book of the series "Energy, Combustion and the Environment" Ed. Taylor & Francis, pp.1129-1143, ISBN 1-56032-977-7, 2002

¹⁶ Bulewicz, E.M., Kandefer, S., Pilawska M., Żukowski, W.: Combustion of Gaseous Fuels in a Bubbling Fluidized Bed. Mediterranean Combustion Symposium-99, poster, Antalya, Turcja, 1999

¹⁷ Pilawska, M., Kandefer, S.: Gaseous Fuels Combustion in Fluidized Bed, Fourth International Conference on Combustion Technologies for a Clean, Proceedings, pp. 16.1 1 – 7, oral presentation, Lisbon, Portugal, 1997

¹⁸ Bulewicz, E.M., Kandefer, S., Pilawska M.: The Effect of Particle Size on Methane Oxidation in a Bubbling Fluidized Bed. 16th International Symposium on Combustion Processes, The Combustion Section of the Thermodynamics and Combustion Committee of the Polish Academy of Sciences, abstr. p. 85, Kazimierz Dolny, 1999

¹⁹ Bulewicz, E.M., Kandefer, S., Pilawska, M., Żukowski, W. The Role of Local Explosions in the Formation of NO_x During the Combustion of Gases in Bubbling Fluidized Bed. 16th International Symposium on Combustion Processes, The Combustion Section of the Thermodynamics and Combustion Committee of the Polish Academy of Sciences, abstr. p. 88, Kazimierz Dolny, 1999

²⁰ Bulewicz, .M., Żukowski, W., Kandefer, S., Pilawska, M. Flame flashes when bubbles explode during the combustion of gaseous mixtures in a bubbling fluidized bed. Combustion and Flame, Ed. Elsevier Science Inc., Vol.132, pp.319-327, 2003

²¹ Pilawska M., Butler C.J., Hayhurst A.H., Chadeesingh D.R.: The Production of Nitric Oxide During the Combustion of Methane and Air in Fluidized Bed. Combustion and Flame, Ed. Elsevier Science Inc., Vol.127, No 4, pp.2181-2193, 2001

materiału inertnego zaproponowanego przez zespół Prof. Loefflera z Vienna University of Technology.²²

Podsumowaniem tego etapu prac, które realizowałam już po doktoracie, była monografia²³ i publikacja²⁴ w *Combustion and Flame*, opublikowana w 2001 roku i cytowana dotąd 21.rotnie.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych w Politechnice Krakowskiej w roku 1996, kontynuowałam badania nad ujawnionymi wcześniej wzajemnymi korelacjami stężeń NO_x i CO w spalinach.²⁵ Dotyczyły one emisji CO i węglowodorów, tworzenia się NO_x , towarzyszących spalaniu jak i wpływu na proces substancji wprowadzanych dodatkowo, NO, NO_2 , N_2O , CCl_4 . W tym etapie badań zastąpiono metan LPG. Wyniki badań z metanem stanowiły odniesienie do badań procesu z zastosowaniem innego paliwa. LPG zawiera węglowodory z trzema i czterema atomami węgla w łańcuchu, ma wyższy od metanu stosunek molowy C/H i wyższą prędkość spalania. Wybrano LPG, ponieważ w pierwszym etapie spalania jego łańcuchy atomów węgla są rozrywane na krótsze fragmenty. Proces spalania takiego paliwa jest modelowy w odniesieniu do spalania wyższych węglowodorów i innych związków organicznych. Piasek stosowany na warstwę również w tym przypadku zapewnił powtarzalność wyników testów. Wyniki badań doświadczalnych i ich analiza pozwoliły określić przebieg i podstawowe cechy reakcji chemicznych zachodzących w warstwie podczas spalania lekkich węglowodorów. Spalanie LPG jest podobne do metanu pod względem charakteru zmian jakościowych poziomu emisji. Najbardziej znaczącą dla dalszych badań okazała się obserwacja przesunięcia o ok. 100 K występowania charakterystycznych zmian poziomów mierzonych emisji, np. szybkiego spadku stężenia CO w porównaniu z CH_4 .²⁶ Różnice ilościowe polegają na niewielkim wzroście emisji NO i zmniejszeniu stopnia konwersji NO do NO_2 w przedziale średniej temperatury warstwy, 400–700°C. Dla LPG i CH_4 określono charakterystyczną wartość temperatury przejścia, przedział 40–60 K, w której dochodzi do zmiany charakteru procesu. W temperaturze poniżej temperatury przejścia część paliwa spala się homogenicznie w pęcherzach, co jest powodem wzrostu emisji NO i nawet pojawiania się NO_2 . Konwersja paliwa jest również niepełna, w spalinach pojawiają się CO i węglowodory.²⁷ Przy nadmiarze powietrza ok. 40%, w temperaturze powyżej temperatury przejścia, stężenia NO_2 , CO i C_xH_y są bliskie poziomowi detekcji instrumentów, a ustabilizowane stężenie NO jest niższe niż dla metanu. Dla określenia drogi powstawania NO_x z powietrza dostarczanego do paleniska, dodawano do substratów substancje modyfikujące selektywnie przebieg reakcji elementarnych: NO, NO_2 , N_2O i CCl_4 . Początkowo spalanie CH_4 i LPG prowadzono w warstwie z piasku kwarcowego z dodatkiem tylko NO lub NO_2 w różnych stężeniach. Wyniki badań są bardzo podobne, niezależnie który tlenek wprowadzono, NO czy NO_2 . Tlenek azotu, gdy wchodzi w skład

²² Loeffler G, Hofbauer H. Does co burn in a fluidized bed?—a detailed chemical kinetic modeling study. *Combustion and Flame*, Volume 129, Issue 4, Pages 439-452, June 2002

²³ Pilawska, M. Spalanie paliw gazowych w złożu fluidalnym. Monografia, nr 239, Politechnika Krakowska, ss. 100, Kraków, 1998

²⁴ Pilawska M., et al.: *The Production of Nitric Oxide During...*, op. cit.

²⁵ Bulewicz E.M., Kandefer S., Pilawska M. (kierownik grantu), Żukowski W. Utylizacja węglowodorów i pochodnych w palenisku fluidalnym. KBN, projekt badawczy nr 8/T10B/023/14. 2000

²⁶ Bulewicz, E.M., Kandefer, S., Pilawska, M.: Pollutant Emissions During the Combustion of Gaseous Fuels in a Bubbling Fluidized Bed. 17th International Symposium on Combustion Processes, abstr.p. 119, Poznań, Poland, 2001

²⁷ Bulewicz, E.M., Baron, J., Żukowski, W., Kandefer, S., Pilawska, M.: Combustion of gases and vapors in small bubbling fluidized beds, Energy and information in non-linear systems: Proceedings of the 4th Japan-Central Europe Joint Workshop on Energy and Information in Non-linear Systems, November 10-12, 2000, Brno, Czech Republic, p.67, 2000

substratów, nie ulega rozkładowi, natomiast NO_2 przechodzi do NO .²⁸ Zatem NO jest pierwotne, gdy nie jest dodawane, a jeśli jest dodawane to utlenia się do NO_2 w stopniu konwersji malejącym do wzrostu stężenia początkowego dodawanego NO . Utlenianie NO przebiega z udziałem rodnika HO_2 , który osiąga maksimum w płomieniach w przedziale temperatury 500–1000°C. W tym też przedziale temperatury występuje maksimum NO_2 podczas spalania metanu w warstwie fluidalnej.²⁹ Wyniki cyklu testów nad oddziaływaniem NO_x na proces spalania wskazały, że w palenisku fluidalnym w temperaturze powyżej 950°C i dla $\lambda > 1$ NO nie jest rozkładane. Emisja NO jest więc związana z przebiegiem procesu spalania paliwa, a nie wynika z syntezy termicznej z O_2 i N_2 . Nie można wykluczyć powstawania pewnej ilości N_2O , ten składnik spalin nie był mierzony z powodu braku stosownej aparatury. Dodatek NO_x do substratów wpływa również na przebieg charakterystycznej zależności stężenia CO od temperatury. W niskiej temperaturze stężenie CO w spalinach maleje ze wzrostem stężenia dodawanego NO i zanika jego lokalne maksimum.

Najbardziej jednak uderzającym i niespodziewanym efektem był zauważony wpływ CCl_4 na właściwości warstwy, złoża z piasku. Nawet chwilowe wprowadzenie tego dodatku do paleniska modyfikuje zachowanie się warstwy na długo. Dla piasku, który nie miał kontaktu z chlorem, obserwowana jest konwersja NO do NO_2 , zwykle w temperaturze poniżej 800°C. Dla piasku, który miał kontakt z chlorem konwersja zanika i pojawia się tylko NO , na poziomie odpowiadającym sumie NO i NO_2 w analogicznych doświadczeniach, w których stosowano świeżą porcję piasku. Zjawisko to nie znalazło dotychczas wytłumaczenia, choć próby podjęto podczas innego programu badawczego realizowanego kilka lat później.³⁰ Efekt musi być związany z reakcją heterogeniczną, gdyż tylko ciało stałe może zachować „pamięć chemiczną”. Wprowadzane do procesu spalania, działających odrębnie, zarówno CCl_4 jak i NO modyfikują utlenianie CO : CCl_4 utrudnia, NO ułatwia utlenianie. Porównanie wpływu NO i CCl_4 stosowanych oddzielnie wskazuje, że efekt ich jest zawsze przeciwstawny. Ze wzrostem temperatury zmienia się tylko wielkość efektu. Przy działaniu łącznym obu dodatków zmienia się nie tylko skuteczność oddziaływania, ale także charakter wpływu. W niższej temperaturze, w obecności CCl_4 dodatek NO powoduje obniżenie stężenia CO (dla stężeń NO i CCl_4 odpowiednio 100 i 1000 ppm). W wyższej temperaturze dodatek NO wspomaga działanie inhibicyjne CCl_4 . Wspomaganie procesu utleniania CO w obecności dodanego NO można tłumaczyć sprzężeniem reakcji utleniania NO i CO , (synergia utleniania: $\text{CO} + \text{OH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$, $\text{H} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{HO}_2 + \text{M}$ i $\text{NO} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{OH}$). Sprzężenie to zanika w wyższej temperaturze, gdy maleje rola rodnika HO_2 . Może się wtedy ujawniać działanie NO jako katalizatora rekombinacji wolnych rodników, tak jak w gazach płomienia.³¹ Emisja NO jest wynikiem syntezy z wiodącą rolą mechanizmów szybkich, a NO i NO_2 , jeżeli pojawią się w substratach, nie są redukowane do N_2 .

²⁸ Kandefer S., Pilawska M., Środa B.: Behavior of Nitrogen Oxides During the Combustion of Hydrocarbons in a Bubbling Fluidized Bed Combustor. Proceedings of The Fifth International Conference on Technologies and Combustion for a Clean Environment, Vol. I, pp. 11.4-295 – 303, Lisbon, Portugal, 1999

²⁹ Bulewicz E.M., Kandefer S., Pilawska M. (wykonawca): Fluid Bed Combustion of Natural Gas. DSS Contract Serial No.: 23440-5-1154/001/SQ, CANMET, ERL Division, Ottawa, Canada, January 1996

³⁰ Pilawska, M., Baron, J., Kandefer, S., Żukowski, W.: Utylizacja chlorowcopochodnych przez współspalanie w reaktorze fluidyzacyjnym. IV Kongres Technologii Chemicznej: Rozwój Technologii Chemicznej i Potrzeb Małych i Średnich Przedsiębiorstw, ISBN 83-918773-3-7, TECEM4, poster, ss.303-304, 8-12 września, Łódź, 2003

³¹ Bulewicz E.M., Kandefer S., Pilawska M. (kierownik grantu), Żukowski W. Utylizacja węglowodorów..., op. cit.

Po roku 2000 badaniami spalania w pęcherzowej, fluidalnej warstwie materiału inertnego, objęto substancje o różnym stanie skupienia, mogących być składnikami odpadów. Spalanie tą metodą może być konkurencyjne w stosunku do konwencjonalnych dopalaczy płomieniowych i metod katalitycznych, mało odpornych na dezaktywację katalizatora. W pierwszym etapie był to program badań procesu rozkładu substancji organicznych z grup węglowodorów aromatycznych, alkoholi, ketonów i estrów, o temperaturze wrzenia do 150°C. Substancje te posiadają niższy niż 4, jak dla metanu, stosunek H:C. W tych związkach wiązania atomów węgla z wodorem są pojedyncze, a z tlenem również podwójne. Utylizacja takich zanieczyszczeń prowadzona jest zazwyczaj kosztownymi i zawodnymi (ze względu na częste zatrucie katalizatorów) metodami katalitycznymi lub przez energochłonne dopalanie płomieniowe. Badane substancje spalano z powietrzem, ze zmiennym nadmiarem, samodzielnie lub z metanem. Wyniki pokazały, że spalanie wszystkich badanych cieczy, w formie oparów w powietrzu, przebiega podobnie jak mieszanek gazowo-powietrznych. Długość łańcucha węglowego, a nawet obecność pierścieni aromatycznych, ma niewielki wpływ na jakościowy przebieg procesu. W stosowanym zakresie temperatury skład spalin zależał od rodzaju paliwa, parametrów procesu i materiału warstwy. Sprawność destrukcji badanych związków, przez przekształcenie wodoru i węgla zawartych w substancji organicznej w nieszkodliwą dla środowiska wodę i akceptowany, nietoksyczny, dwutlenek węgla może przekraczać 99,95%.³² Poziom emisji tlenków azotu powstających w procesie jest niski, a podczas spalania np. lekkich alkoholi obniża się do progu czułości typowych przyrządów pomiarowych.³³ W temperaturze poniżej 900°C, tzn. gdy spalanie może zachodzić w warstwie, i dla stałego λ konwersja badanych substancji zachodzi podobnie jakościowo, lecz inne są temperatury charakterystyczne. W porównaniu z metanem, skuteczne spalanie badanych par cieczy przebiega na ogół w temperaturze do 150°C niższej. Różnice wynikają z ich podatności na utlenianie. W danej temperaturze stężenie CO maleje ze wzrostem liczby atomów węgla w cząsteczce badanej substancji i jest zawsze niższe niż podczas spalania metanu.³⁴ Emisja C_xH_y jest znacząco niższa, w szerokim przedziale wartości współczynnika nadmiaru powietrza λ , w porównaniu z metanem. Stężenie NO_x w spalinach maleje ze wzrostem λ i jest bardzo niskie, 2–3 ppm dla lekkich cieczy i do 10 ppm dla $\lambda=2$ dla węglowodorów aromatycznych. Zaskakująco niski był poziom NO podczas spalania metanolu, na porównywalnym poziomie jak dla wodoru, gdzie NO może powstawać, poza mechanizmem Zeldowicza, jedynie z N_2O (układ ubogi w paliwo) lub NNH (układ bogaty).³⁵ Badania wykazały, że intensywność syntezy NO_x , powstających głównie wg mechanizmów szybkich NO_x zależy od budowy cząsteczki spalanej substancji i podczas spalania metanolu nie dochodzi do powstawania NO według mechanizmu szybkiego. Zauważono, że poziom stężenia NO_x w spalinach jest niższy, gdy spalana substancja zawiera mniej atomów węgla w cząsteczce. Maksimum stężenia NO_x w warstwie jest wyższe dla związków aromatycznych niż metanu. Ze wzrostem liczby atomów węgla w cząsteczce, pozycja maksimum (wartość maksymalna przed ustaleniem się stałej dla danych warunków wartości) przesuwa się do wyższych temperatur. Dla substancji zawierających tlen w cząsteczce maksimum stężenia

³² Baron, J., Pilawska, M., Żukowski, W., Kandefer, S. Utylization of Gaseous and Liquid Combustible wastes: Aromatics and Esters in a Bubbling Fluidised bed of Inert Particles". 18th International Symposium on Combustion Processes, abstr.p.23, Ustroń, Poland, 2003

³³ Pilawska, M., Baron, J., Żukowski, W. Combustion of aromatics and esters in an atmospheric bubbling fluidized bed combustor, in comparison with that of natural gas. Clean Air International Journal on Energy for a Clean Environment, Ed. Bell House, Inc., ISSN 1561-4417, Vol.6, No 5, pp.113-123, 2005

³⁴ Baron J., Bulewicz E. M., Żukowski W., Kandefer S., Pilawska M.: Combustion of Hydrocarbon Fuels in a Bubbling Fluidized Bed. Combustion and Flame, Ed. Elsevier Science Inc., Vol.128, pp.410-421, 2002

³⁵ J. Baron, E.M. Bulewicz, S. Kandefer, M. Pilawska, W. Żukowski, A.N. Hayhurst, Combustion of hydrogen in a bubbling fluidised bed, Combustion and Flame, 156, Issue 5, pp.975-984, 2009

NO_x praktycznie nie występuje. W temperaturze powyżej 900°C proces przebiega praktycznie beztleniowo, a jego przebieg nie zależy od temperatury. Obecność tlenu w cząsteczce paliwa nie wpływa znacząco na sprawność spalania, ale wpływa na obniżenie stężenia NO w spalinach. Wzrost temperatury do 1050 - 1070°C, ograniczenie procesów płomieniowych w pęcherzach, nie zmienia przebiegu procesu ani składu spalin, stężenie NO_x nie wzrasta.³⁶

Podczas spalania węglowodorów do wiązania azotu atmosferycznego mogą się przyczyniać reakcje pomiędzy N₂ a rodnikami typu CH, tzw. mechanizm szybkich NO. Produktami pośrednimi są wtedy HCN i rodnik CN. O powstawaniu NO_x decyduje charakter połączeń chemicznych węgla.³⁷ Ich połączenia z tlenem ograniczają możliwość syntezy NO_x, jest ona natomiast ułatwiona dla związków aromatycznych. NO₂ jest produktem wtórnym. Podczas spalania w warstwie fluidalnej proces rozkładu i utylizacji substancji jest bardzo efektywny i nie będzie zakłócany przez zanieczyszczenia pyłem lub związkami organicznymi zawierającymi heteroatomy.³⁸

Badania substancji odpadowych w stanie stałym podjęto wraz z pojawieniem się problemu utylizacji olbrzymich ilości zwierząt hodowlanych dotkniętych chorobą „wściekłych krów”. Badania te prowadzono w instalacjach: laboratoryjnej (5 kW), półtechnicznej (150 kW) i pełnej skali technicznej reaktora fluidyzacyjnego (1 i 1.5 MW).³⁹ W skali laboratoryjnej prowadzono testy spalania określonych porcji odpadów zwierzęcych (tłuszcz, surowe mięso bez powięzi i kości z resztkami ścięgien) w warstwie z piasku kwarcowego, gdy spalany był metan. Badania te kontynuowano w palenisku półtechnicznym, gdzie dla zapewnienia ciągłej pracy instalacji współspalano odpad mięsny przetworzony, (masa kostno-mięsna) ze zrębkami drzewnymi i segregowanymi odpadami komunalnymi (głównie papier).⁴⁰ Stężenie NO_x w spalinach było niskie dla samych zrębków i segregowanych odpadów komunalnych i wysokie dla odpadów mięsnych. Stężenia te były spodziewane, gdyż wcześniejsze badania wykazywały, że zależą one od ilości azotu związanego w substracie, najwięcej jest go w podwiewiach i ścięgnach odpadów mięsnych. Badania potwierdziły zależność pomiędzy ilością azotu w substracie, a emisją NO_x. Wyniki tego etapu badań były poddane weryfikacji podczas międzynarodowych, cyklicznych konferencji: 18th International Symposium on Combustion Processes⁴¹, 18th International Conference on Fluidized Bed Combustion⁴² oraz 7th APISCEU w HONG KONGU⁴³ i w późniejszej publikacji.⁴⁴ W pełnej skali technicznej, w kotle o mocy 1 MW_{th}, spalano suchą masę kostno-mięsną (MKM) i osobno zrębki drzewne. Emisja NO_x ze spalania MKM była kilkukrotnie wyższa niż ze spalania

³⁶ Bulewicz E.M., Kandefer S., **Pilawska M.** (główny wykonawca), Baron J., Żukowski W.: Rozkład odpadów substancji organicznych w palenisku fluidalnym, KBN, projekt badawczy, nr 8/T10B/049/20. 2003

³⁷ **Pilawska, M.**, Bulewicz, E.M. Combustion of Gases in a Bubbling Fluidized Bed Any Practical Potential. 4th International Colloquium: Fuels 2003, Ed. Wilfried J. Bartz, ISBN: 3-924813-51-5, Technische Akademie Esslingen, Ostfildern, pp.339-348, 2003

³⁸ **Pilawska, M.**, Seminarium naukowe - Wrocław, Politechnika Wrocławska, „Spalanie substancji odpadowych w złożu fluidalnym”, 2001

³⁹ Kandefer S., **Pilawska, M.**, Żukowski W., J. Baron, J. Porzuczek, S. Chrupek, M. Olek: Opracowanie parametrów technologicznych i procesowych utylizacji odpadów mięsnych w palenisku fluidalnym – KFD, zn. 5-5/29/2003, grudzień 2003

⁴⁰ Baron, J., **Pilawska, M.**, Olek, M., Żukowski, W.: Utilisation of Waste Fuels in a Fluidized Bed, XXIX Scientific - Technological Seminar Science, Industry, Technology, Marketing, Jeseník, proceedings, 9- 12 December 2003

⁴¹ Kandefer, S., Baron, J., **Pilawska, M.**, Żukowski, W., Chrupek, S., Olek, M. CO-Combustion of Regular Solid Fuel with Wastes of Animal Origin in a Bubbling Fluidised Bed. A Feasibility Study. 18th International Symposium on Combustion Processes, abstr.p.51, Ustroń, Poland, 2003

⁴² Bulewicz E. M., Kandefer S., **Pilawska M.**, Żukowski W., Baron J.: FBC-Laboratory Scale Research To Small Scale Practical Operation, Proceedings of 18th International Conference on Fluidized Bed Combustion, 22-25 May 2005, Toronto, Ontario, Canada, pp.1-8, 2005

⁴³ **Pilawska, M.**, Baron, J., Żukowski, W., Kandefer, S. The Use of AB FBC for the Utilization of Raw Animal Wastes. The Seventh Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization, 7th APISCEU, Hong Kong SAR, Proceedings, 2004

⁴⁴ **Pilawska, M.**, Baron, J., Żukowski, W., Kandefer, S.: The Use of AB FBC for the Utilization of Raw Animal Wastes. Special Selection Combustion and Energy Utilisation, The Hong Kong Institution of Engineers, HKIE Transactions, Vol.12, No 3, pp.37-41, ISSN 1023-697X, 2005

zrębków, a zawartość WWA w wodzie ze skruberów wielokrotnie wyższa.⁴⁵ W pełnej skali technicznej prowadzono też badania współspalania z węglem porcji surowego, nierozdzielonego odpadu mięsnego i samodzielnie odpady komunalne (granulowany osad ściekowy). Gazy spalinowe ze spalania odpadów mięsnych nie różnią się istotnie składem od emitowanych ze spalania węgla.⁴⁶ Zarówno badania laboratoryjne jak i przeprowadzone w paleniskach kotłów fluidalnych potwierdziły, że poziom emisji NO_x i SO₂ odzwierciedla obecność związanego azotu i siarki w paliwie. Cała siarka organiczna przekształca się do SO₂, tak że stężenie SO₂ jest miarą zawartości S w substratach. Azot związany w odpadzie lub paliwie ulega konwersji do HCN i NH₃ lub pozostaje w koksiku. Następnie mogą powstać NO, N₂O, N₂. Warunki spalania, węgiel i wysoki nadmiar utleniacza, sprzyjały tworzeniu się NO. Badania dostarczyły ważnych informacji dla zaprojektowanej przez Prof. Stanisława Kandeferę, w ramach projektu badawczego przyznanego w V Programie Ramowym EU „Sludge for Heat” NNE5/2001/00468⁴⁷, spalarni osadów ściekowych.^{48,49} W ramach projektu, którego byłam jednym z głównych wykonawców, spalano i współspalano suche i mokre komunalne osady ściekowe. Badania wykazały, że suchy osad ściekowy może być z powodzeniem spalany samodzielnie z wykorzystaniem techniki fluidalnej. Wartość opałowa osadu, jeśli nie był poddany fermentacji, wynosi do 14 MJ/kg, a duża ilość popiołu jest usuwana ze złoża w sposób ciągły, dzięki unikalnej budowie dna sitowego (patent). Mokry osad ściekowy wymaga współspalania z dodatkowym paliwem, którym może być inny odpad, zawierający mniej azotu związanego (MBM, biomasa). Możliwa, ponadnormatywna emisja NO_x i SO₂ oraz metali Hg, As, Pb, Cd z fazy gazowej musi być wtedy kontrolowana.⁵⁰ Wyniki tego etapu badań poddałam ocenie podczas sesji posterowej 30th International Symposium on Combustion w UCL Chicago, USA.⁵¹

W roku 2007 otrzymałam zespołową Nagrodę Ministra „za osiągnięcia naukowe, za współautorstwo technologii, konstrukcji i wdrożenia spalarni osadów ściekowych dla małych i średnich aglomeracji miejskich”.

Badania energetycznego wykorzystania odpadów z zastosowaniem technologii fluidalnej, pęcherzowej, wykazały konieczność stosowania oczyszczania spalin z NO_x, gdy odpad zawiera duże ilości azotu. Dlatego w roku 2004, równoległe z realizacją projektu

⁴⁵ Baron, J., Kandefer, S., Olek, M., **Pilawska, M.**, Żukowski, W.: Small Scale Biomass Incinerator with a Bubbling Fluidized Bed. II. Combustion of Feathers and MBM, Chemistry and Biochemistry in the Agricultural Production, Environment Protection, Human and Animal Health, Chemistry for Agriculture, Vol.7, ISBN 80-239-7759-8, pp.689-699, 2006

⁴⁶ Kandefer, S., **Pilawska, M.**, Baron, J., Żukowski, W., Lu, J., Zhang, J., Zhang, H., Yang, H., Liu, Q., Yue, G.X. Waste Utilization Using 1 MW_{th} Fluidising Bed Combustion Reactors. XIX International Symposium on Combustion Processes, Wisła, Poland, ISBN 83-922381-1-7, pp.159-170, 2005

⁴⁷ Kandefer, S., Bulewicz, E.M., **Pilawska, M.**, Baron, J., Żukowski, W., Wrona, J., Porzeczek, J., Olek, M., Chrupek, S., Dzikowska, J.: Sludge for Heat – European Project Presentation. Proceedings of Polish – Swedish Seminar: Integration and Optimisation of Urban Sanitation Systems, Cracow, March 17-18, 2005, TRITA-LWR.REPORT 3018, Stockholm 2007, ISBN 978-91-7178-826-9, pp.61-70, 2007

⁴⁸ Kandefer, S., **Pilawska, M.**, Baron, J., Żukowski, W.: Program Specjalny Badań i Rozwoju Technologicznego oraz Demonstracji „Części B: Program energii – Energia, środowisko i zrównoważony rozwój” mający na celu wdrożenie projektu „Osady na Ciepło” (ang. Sludge for Heat), numer: NNE5/2001/00468, akronim projektu: SFH, Decyzja Przewodniczącego Komitetu Badań Naukowych Nr 137/E-360/SPB/5.PR UE/DZ 347/2003-2005 z dnia 11.06.2003

⁴⁹ Kandefer, S., Bulewicz, E.M., **Pilawska, M.**, Baron, J., Żukowski, W., Wrona, J., Porzeczek, J., Olek, M., Chrupek, S.: Sewage Sludge Incineration in an Atmospheric Fluidized Bed Combustor, The 8th International Conference on Circulating Fluidized Beds, abstr. pp.2, poster, Hangzhou, China, 10-13 May 2005

⁵⁰ Żukowski, W., Baron, J., Chrupek, S., **Pilawska, M.**: Burning Sewage Sludge from a Municipal Waste Water Treatment Plant – the Migration of Metals. New Agrochemicals and Their Safe Use for Health and Environment, Ed. CZECH-POL TRADE, Czech Republic, ISBN 80-239-3289-6, Chemistry for Agriculture, Vol.5, pp.781-792, 2004

⁵¹ Kandefer, S., **Pilawska, M.**, Żukowski, W., Baron, J.: Sludge for Heat CO-Combustion of Sewage Sludge with Biomass Wastes in Atmospheric Bubbling FBC”. 30th International Symposium on Combustion, Abstracts of Work-In-Progress Posters, p.157, The Combustion Institute, Pittsburg, University of Illinois at Chicago, USA, 2004

Europejskiego, podjęłam trwającą do dziś współpracę naukową z Profesorem Guangxi Yue i jego zespołem z Uniwersytetu Tsinghua w Pekinie, ChRL. Wtedy praktycznie zetknęłam się z metodą cyrkulacyjną procesu fluidyzacji. Zespół badał proces spalania/współspalania z węglem odpadów drzewnych i komunalnych: segregowanych, luzem lub speletyzowanych, o dużej kaloryczności, RDF. Odpady spalano w laboratoryjnym reaktorze CFB o wysokości 5 m i średnicy 0.15 m, następnie w instalacji o mocy 1,5 MW_{th}. RDF w porównaniu z węglem ma niższą wartość opałową, niższy udział węgla związanego, porównywalny udział azotu związanego, ale dwukrotnie wyższą zawartość wodoru i 10 krotnie wyższy udział tlenu. Wyniki ujawniły, że współspalanie węgla i peletów RDF zapewnia równomierny rozkład temperatury wzdłuż wysokości reaktora. Testy prowadzono dla udziału powietrza wtórnego 25 lub 35 % i uzyskano cenną informację o znacząco niższym stężeniu NO_x w spalinach dla niższego ze stosowanych udziałów. Potwierdziły również liniową zależność emisji NO_x od ilości azotu wprowadzanego z substratami.⁵²

Byłam inicjatorką i współorganizowałam pobyt (sabbatical) Profesora Allana N. Hayhursta w Politechnice Krakowskiej. Uczestniczyłam w realizacji programu badawczego Profesora, dotyczącego spalania tworzyw sztucznych w AB FBC. Próbkę polimerów w postaci granulek spalano w warstwie z piasku stosując głównie LPG, metan i rozpoznawczo wodór. Wodór zastosowano w celu ograniczenia w procesie spalania rodników węglowodorowych pochodzących z paliwa. Obserwacje wskazały, że emisja tlenku azotu ze spalania polimerów zawierających atomy węgla i wodoru (bez azotu) jest porównywalna z tą ze spalania par węglowodorów z wyraźnie dominującym mechanizmem szybkich NO. Wzrost emisji NO obserwowano dla tworzyw sztucznych zawierających azot. Końcowe stężenie NO ma liniowy charakter zależności emisji tego składnika spalin od ilości azotu zawartego w polimerze. Stopień konwersji N do NO jest podobny jak podczas spalania węgla. Badania potwierdziły wcześniejsze obserwacje^{53,54} o obniżeniu stężenia CO, gdy stężenie NO jest wysokie. Wyniki badań były poddane weryfikacji podczas wystąpień w kraju i za granicą^{55,56,57}, zaowocowały też późniejszymi publikacjami.^{58,59} Badania te kontynuował dr Jerzy Baron, rozszerzając program o tworzywa z zawartością barwników i wypełniaczy.

Dotychczasowe wyniki wykazały, że dla substancji zawierających azot, spalanych lub współspalanych w pęcherzowym złożu fluidalnym, konieczne będzie oczyszczanie spalin z NO_x. Usuwanie tlenków azotu z gazów odlotowych polega na wprowadzeniu do układu związku, z którego mogą powstać w gazach rodniki NH_i. Homogeniczna metoda termicznej redukcji NO do N₂ z zastosowaniem amoniaku w obecności tlenu nie daje CO₂, przez co wydała się odpowiednia. Metodę tę opracował Lyon w 1974 roku, wdrożenie jej na skalę

⁵² Lu, J.F., **Pilawska, M.**, Zhang, J.S., Xing, X., Liu, Q., Yue, G.X.: Combustion characteristics of refuse derived fuels in circulating fluidised bed combustor, *Journal of the Energy Institute*, ISSN 0144-2600, Ed. Maney Publishing, Vol.79, No 3, pp. 139-144(6), 2006

⁵³ Bulewicz, E.M., Kandefer, S., **Pilawska M.** *Natural Gas Combustion ...*, op. cit.

⁵⁴ Kandefer S., **Pilawska M.**, Środa B., "Behavior of Nitrogen ...", op. cit.

⁵⁵ **Pilawska, M.**, Baron, J., Kandefer, S., Żukowski, W.: Możliwości degradacji tworzyw sztucznych w inertnym złożu fluidalnym". IV Kongres Technologii Chemicznej: Rozwój Technologii Chemicznej i Potrzeb Małych i Średnich Przedsiębiorstw, nr 4, poster s.301-302, 8-12 wrzesień, Łódź, 2003

⁵⁶ Baron, J., Bulewicz, E.M., Kandefer, S., **Pilawska, M.**, Żukowski, W., Hayhurst, A.N.: The Combustion of Polymers in a Fluidised Bed". XVIII International Symposium on Combustion Processes, abstr.p.22, Ustroń, Poland, 2003

⁵⁷ Hayhurst, A.N., Kandefer, S., Bulewicz, E.M., **Pilawska, M.**, Baron, J., Żukowski, W.: Combustion of Polymer Pellets in a Bed of sand Fluidised with a Mixture of Propane and Air. 29th International Symposium on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburg,, Abstracts of Work-In-Progress Poster Presentations, Hokkaido University Sapporo, Japan, July 21-26, p.298, 2002

⁵⁸ Baron, J., Bulewicz, E.M., Kandefer, S., **Pilawska, M.**, Żukowski, W., Hayhurst, A.H.: The combustion of polymer pellets in a bubbling fluidised bed, *Fuel*, Ed. Elsevier, Vol.85, pp.2494-2508, 2006

⁵⁹ Baron, J., Bulewicz, E.M., Kandefer, S., **Pilawska, M.**, Żukowski, W., Hayhurst, A.H.: Combustion of hydrogen in a bubbling fluidized bed, *Combustion and Flame*, Ed. Elsevier Science Inc., Vol.156, No 5, p.975-984, 2009

przemysłową nastąpiło rok później. Urządzenia do realizacji procesu umieszcza się w górnej części palenisk kotłów pęcherzowych (BFBC), a dla instalacji z warstwą cyrkulującą (CFBC) stosuje się wtrysk wielopunktowy. Aby proces był efektywny, to od podania NH_3 do instalacji, gazy odlotowe muszą przebyć całą pozostałą drogę gazową w przedziale temperatury zwanym „oknem procesu”. Zakres temperatury „okna” wyznacza się empirycznie dla stosunku molowego NH_3 do NO bliskiego jedności. Okno temperaturowe dla efektywnej redukcji NO w procesie DeNO_x jest wąskie, wynosi do 100 K, a jego rozszerzenie mogłoby mieć duże znaczenie praktyczne. Poniżej optymalnej temperatury reakcja jest zbyt wolna, by reduktor mógł całkowicie przereagować w obrębie instalacji, zatem jego część może przedostawać się do otoczenia wraz ze spalinami.

Prowadzone, wraz z zespołem Prof. Guangxi YUE na Uniwersytecie Tsinghua w Chinach, badania wykazały, że NH_3 może także wydostawać się do środowiska z gazami i lotnymi pyłami, powodując obniżenie efektywności redukcji NO_x , gdy stosunek molowy NH_3 do NO maleje, a temperatura procesu jest niższa od temperatury „okna procesu”.⁶⁰ W wyższych temperaturach amoniak utlenia się do NO , staje się zatem źródłem dodatkowej emisji. Powstawanie N_2O w procesie SNCR (selektywna, niekatalityczna redukcja) początkowo śledzono, gdy mieszanka gazów wprowadzanych do reaktora składała się tylko z amoniaku i tlenu azotu w strumieniu N_2 . Stężenia NO , NH_3 i N_2O w gazach opuszczających reaktor kierowano do analizatora typu FTIR (Fourier Transform InfraRed). Dla wyeliminowania wpływu aerodynamiki warstwy na badany proces zastosowano reaktor z nieruchomą warstwą piasku, ogrzewany i zaizolowany z zewnątrz. Mierzono stopień wykorzystania reagentów zależnie od warunków: temperatury, początkowego stosunku molowego NH_3/NO , udziału tlenu w mieszance i stężenia powstającego N_2O . Porównano proces zachodzący w obecności warstwy i bez niej, z udziałem tlenu w mieszance i bez niego. Badania potwierdziły, że metodzie SNCR towarzyszy powstawanie produktu ubocznego – tlenu diazotu, N_2O , silnego gazu cieplarnianego, oddziałującego też na ozon stratosferyczny. **Wykazano, że redukcja NO i powstawanie N_2O są nierozłączne.** Natomiast porównanie stężeń powstałego N_2O w obecności materiału stałego warstwy, przez którą przepływała mieszanka NH_3 i NO i bez tej warstwy, dostarczyły ważnych informacji. Obecność fazy stałej w reaktorze zasadniczo zmienia zachowanie się układu. **Bez warstwy**, gdy dominują procesy w fazie gazowej, nie występuje właściwe dla optymalnej redukcji NO „okno” temperaturowe procesu w zakresie temperatur pracy instalacji przemysłowych FBC, zarówno pęcherzowych jak i cyrkulacyjnych. Wydajność redukcji NO jest niska, powstaje zaledwie kilka ppm N_2O w całym badanym zakresie temperatury, bez maksimum. Dodatkowo wykazano, że proces może być wydajny bez obecności tlenu w obszarze reakcji. **Z warstwą** SiO_2 w reaktorze i dla modelowej mieszanki NO i NH_3 , stężenie N_2O osiąga kilkanaście ppm i przechodzi przez wyraźne maksimum w zakresie temperatury 800–950°C, jak dla „okna”. Wpływ fazy stałej jest tu znaczący, co dodatkowo potwierdzono badając proces dla różnej grubości warstwy. Spadek stężenia N_2O , po przejściu przez maksimum, powyżej temperatury 850°C można uznać za skutek rozkładu termicznego, znanego od dawna. Z porównania jakościowego powyższych badań wynika, że w proces SNCR zaangażowane są dwa mechanizmy. Tlenek diazotu powstaje w wyniku pierwszego mechanizmu, w przedziale temperatury, poniżej wystąpienia maksimum N_2O „w oknie”. W wyniku drugiego mechanizmu, powyżej temperatury okna, następuje rozkład termiczny N_2O . Rozkład ten badano oddzielnie w wybranych warunkach w obecności warstwy SiO_2 i bez niej, a następnie dla **warstwy**

⁶⁰ Hou X.S., Zhang H., Pilawska M., Lu J.F., Yue G.X.: The formation of N_2O during the reduction of NO by NH_3 , Fuel, Vol.87, pp. 3271-3277, 2008

z dodatkami. Poniżej 850°C rozkład termiczny N₂O nie jest efektywny. Powyżej 850°C rozkład N₂O jest tym efektywniejszy im wyższa jest warstwa, a przy zachowaniu jej stałej wysokości warstwy efekt ten maleje ze wzrostem średnicy ziarna. Kształt krzywych rozkładu termicznego N₂O pozostaje zawsze charakterystyczny, niezależnie od obecności warstwy czy stosowanego do niej dodatku. Natomiast w obecności fazy stałej zawsze następuje przesunięcie krzywych rozkładu do niższych temperatur. Spośród badanych dodatków do warstwy modelowej tlenek żelaza umożliwia rozkład N₂O w najniższej temperaturze i pozostaje najbardziej efektywny pomimo, że w trakcie doświadczenia jego wpływ maleje. Wyraźne oddziaływanie katalityczne powierzchni materiału cząstek stałych w warstwie, choć zróżnicowane dla różnych substancji i zależne od ich „historii” poszerza okno temperaturowe dla redukcji NO.⁶¹ Rola jaką w procesie SNCR odgrywa ciało stałe jest znacząca, gdyż wpływa ono zarówno na powstawanie jaki i na rozkład N₂O.

Odmienne jest **wpływ dodatków gazowych** (O₂, CO₂, H₂O, obok N₂ główne składniki spalin), na rozkład N₂O. Dają one efekt przeciwny do dodatków stałych do warstwy. Ze wzrostem stężenia dodatku następuje przesunięcie krzywych rozkładu w stronę wyższych temperatur i obniża się maksymalny stopień rozkładu w danej temperaturze. Skala efektu i różnice pomiędzy dodatkami są niewielkie. Oddziaływanie dodatków stosowanych łącznie jest większe, niż gdy są one dodawane osobno. Wpływ na redukcję NO jest również niekorzystny. Wszystkie badane dodatki gazowe zachowują się jak stosunkowo słabe inhibitory rozkładu N₂O. Biorąc jednak pod uwagę ich małe stężenia w stosunku do nośnika N₂, to ich wpływ jest znacznie mniej istotny od wpływu fazy stałej. Dodatki do fazy gazowej dają efekt przeciwny do fazy stałej, nie rozszerzają okna temperaturowego. W powstawanie N₂O zaangażowane są dwa mechanizmy. Jeden, który jest aktywny w fazie gazowej i drugi, w którym wpływ ma udział fazy stałej.⁶²

Rozkład termiczny N₂O badano również, gdy w mieszance modelowej obecny był związek chloru, CCl₄. Znany i opisany w publikacjach jest wpływ chloru na wolne rodniki, powstające w pęcherzach w fazie gazowej. Cl₂, Cl, HCl katalizują wtedy rekombinacje wolnych rodników, niezbędnych podczas spalania. W omawianym przypadku nie mamy do czynienia ze spalaniem, a wpływ chloru jest wyraźny, bo powoduje obniżenie stopnia rozkładu N₂O. **Kontakt warstwy z chlorem powoduje obniżenie stopnia rozkładu N₂O nawet gdy w fazie gazowej już Cl nie ma.** Efekt ten musi być związany z fazą stałą. Badania ujawniły, że materiał stały jest istotny i odgrywa ważniejszą rolę niż mu się zazwyczaj przypisuje. Zauważone efekty heterogeniczne, wymagają odrębnych badań, innymi metodami. Rola materiału stałego jest wyraźnie znacząca, ma on wpływ katalityczny na rozkład N₂O.⁶³ W pracy zauważono, że najlepsze efekty dają tlenki żelaza, które w warunkach rzeczywistych powstają podczas utleniania pirytu z paliwa w palenisku. Temperatura dla efektywnego rozkładu N₂O obniża się wyraźnie w wyniku katalizy heterogenicznej. Nasuwa się więc wniosek, że powinno być możliwe takie zorganizowanie procesu SNCR, aby **maksymalnie wykorzystać efekt katalityczny materiału stałego do ograniczenia emisji N₂O.**

Uzyskane wyniki mają znaczenie użytkowe dla sposobu prowadzenia procesu SNCR w instalacjach CFBC. Mogą one stanowić podstawę do korzystniejszego, z punktu widzenia

⁶¹ Pilawska M., Zhang H., Hou X.S., Lu J.F.: Destruction of N₂O over Different Bed Materials, 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion, Proceedings, pp.7, 2009

⁶² Małgorzata Pilawska, *Emisja Tlenku Diazotu Towarzysząca Energetycznemu Wykorzystaniu Paliw*, Monografia nr 448: Wydawnictwo Politechnika Krakowska, Seria Inżynieria Środowiska, ss. 118, Kraków 2013, ISSN 0860-097X

⁶³ Kandefer S., Pilawska M., YUE G.X., Bulewicz E.M.: Unexpected observations during laboratory experiments relevant to FBC processes. 34th International Symposium on Combustion Proceedings, Combustion Institute, Pittsburg, USA, 2012

emisji NO_x i N₂O, planowania technologicznego procesu spalania i współspalania odpadów w kotłach fluidalnych. Planowanie to należy poprzedzić badaniami w warunkach rzeczywistych, w skali technicznej. Reduktor NO, amoniak, wprowadza się obecnie do kotła w górnej jego części, nadłożowej. W ciągu technologicznym może być uzasadnione przeniesienie procesu z kotła do cyklonu, gdzie temperatura jest niższa i następuje intensywny kontakt gazów z fazą stałą, która mogłaby być nawet celowo modyfikowana. Powinna być wtedy możliwa jednoczesna redukcja NO i stworzenie warunków do obniżenia nieuchronnej emisji N₂O. Wyniki tego etapu moich prac były poddane weryfikacji podczas prezentacji na międzynarodowych konferencjach zarówno w wystąpieniach ustnych jak i podczas sesji posterowych.^{64,65} W tym czasie publikowałam prace zarówno z grupą krakowską^{66, 67}, jak i pekińską⁶⁸.

W roku 2006, otrzymałam zaproszenie do Grupy Doradców ds. Zmian Klimatu i Energii Przewodniczącego Komisji Europejskiej J.M. Barroso. Do Grupy dołączyłam w 2007 i jako przedstawiciel Politechniki Krakowskiej brałam udział w organizowanych przez Komisję: Energii, Środowiska i Demograficzną, konferencjach i seminariach naukowych. Uczestniczyłam w spotkaniach bilateralnych UE – Indie, UE – Chiny, mających na celu zbliżenie stanowisk stron wobec postępującej degradacji środowiska. Ważnym merytorycznie elementem prac było opiniowanie przyszłych aktów prawnych oraz wypracowywanie stanowiska KE na spotkania: grupy G8 w Berlinie 2008, ONZ: na Bali 2007, w Poznaniu 2008 i Cancun 2009. W kadencji KE 2006-2009 Przewodniczący J.M. Barroso spotkał się z grupą 7. krotnie (Bruksela, Poczdam, Paryż, Lizbona, Pekin)

Prace badawcze, które realizowałam dotyczyły procesów spalania w warstwie fluidalnej i głównie miały charakter badań podstawowych. Tematem mojego w nich zainteresowania są składniki spalin, podlegające standaryzacji, szczególnie tlenki azotu a później tlenek diazotu. W początkowej fazie badań paliwem był metan, co miało ograniczyć ilość substratów. Na warstwę zastosowano piasek i następnie tlenek wapnia, materiały powszechne w złożach palenisk przemysłowych. Uproszczenie układu nie zawężyło obszaru badań, ale ujawniło inne, nowe problemy naukowe. Powstał opis obserwacji, które początkowo nie znalazły wyjaśnienia. **Istotny wpływ materiału stałego** na przebieg procesu spalania paliwa gazowego wykazano w badaniach z zastosowaniem metanu. Efekty te były związane z fazą stałą i pierwszym z nich było występowanie pików stężenia NO podczas nagrzewania stosowanych na warstwę wapieni. Badana warstwa, zbudowana z CaO powstałego w wyniku kalcynacji wapienia w temperaturze ok. 750°C, po zakończeniu kalcynacji, w temperaturze ok. 900°C, pozwala spalać paliwo gazowe z niską emisją: CO, poniżej 1 ppm; NO, 0–2 ppm i NO₂ poniżej 1 ppm. Inne wapienie stosowane na warstwę dawały efekt samorzutnego gaśnięcia paleniska w określonej temperaturze i przy pewnych parametrach materiału warstwy, który nazwano oscylacją.⁶⁹ Sądzone, że ma ona związek

⁶⁴ Hou X.S., Zhang H., **Pilawska M.**, Lu J.F., Yue G.X.: The formation of N₂O ... , *op. cit.*

⁶⁵ **Pilawska M.**, Zhang H., Hou X.S., Lu J.F.: Destruction of N₂O over ... , *op. cit.*

⁶⁶ Baron, J., Bulewicz, E.M., Kandefer, S., **Pilawska, M.**, Żukowski, W.: Environmentally-friendly Use of Waste Biomass in Protected Areas. Environment Protection Engineering, ISSN 0324-8828, Vol.32, No 1, pp.35-40, 2006

⁶⁷ Kandefer, S., Bulewicz, E.M., **Pilawska, M.**, Baron, J., Żukowski, W., Wrona, J., Porzuczek, J., Olek, M., Chrupek, S.: Sewage Sludge Incineration in an Atmospheric Fluidized Bed Combustor, The 8th International Conference on Circulating Fluidized Beds, Hangzhou, China, 10-13 May 2005

⁶⁸ Lu, J.F., **Pilawska, M.**, Zhang, J.S., Xing, X., Liu, Q., Yue, G.X.: Combustion characteristics of refuse derived fuels in circulating fluidised bed combustor, Journal of the Energy Institute, ISSN 0144-2600, Ed. Maney Publishing, Vol.79, No 3, pp. 139-144(6), 2006

⁶⁹ **Pilawska M.**, et al.: Combustion of Natural Gas in a Fluidized Bed of Lime. *op. cit.*

z aerodynamiką warstwa fluidalnego.⁷⁰ Zmiany stężenia CO nie wpływały przy tym na charakter wzajemnych zależności stężeń NO_x i temperatury. Inne materiały stosowane na warstwę (jeżeli są niestabilne termicznie), w temperaturze dla optymalnej pracy paleniska, mogą proces zakłócać, hamować lub nawet przerwać, np. odpowiednio: zeolit, wapień, katalizator manganowy. Ten ostatni, stosowany w metodzie oczyszczania gazów „Swingtherm”, w zakresie temperatury 700–800°C wygasza proces spalania. Zmiana parametru, chociażby poprzez chwilowe zmniejszenie nadmiaru powietrza pozwalała przekroczyć ten próg i rozgrzać warstwę powyżej temperatury 900°C.⁷¹ Po przekroczeniu progu, poziomy emisji NO_x są różne, najbardziej zaskakujące dla wapna pokarbidowego. Choć natury zjawiska nie można narazie w pełni wyjaśnić to opisano je wyczerpująco. Materiały zbliżone składem chemicznym różnią się pod tym względem znacząco. Inne, zupełnie odmienne chemicznie i fizycznie dają identyczne stężenie NO w spalinach. Jeżeli stężenie NO jest niskie, to rozkład NO już powstałego jest nieprawdopodobny, ale możliwy jest wpływ warstwy na samo utlenianie paliwa, z zahamowaniem powstawania prekursorów szybkich NO. Wskazano na zahamowanie konwersji NO do NO_2 nawet po krótkotrwałym kontakcie warstwy fluidalnej (piasku) z chlorem. Poza oczywistym wnioskiem, że zmiana musi dotyczyć fazy stałej, nie można było wysunąć żadnej hipotezy tłumaczącej mechanizm tego zjawiska. Wśród opisanych w pracach z moim udziałem efektów związanych z fazą stałą, wiele otwiera pola do dalszych badań, lecz w innych dziedzinach i z zastosowaniem innego aparatu pomiarowego.

Małgorzata Piławska

⁷⁰ Kandefers, S., **Piławska M.**, Żukowski, W. Warunki procesowe spalania gazu w płytkim złożu fluidalnym, XVI Ogólnopolska Konferencja Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Komitet Inżynierii Chemicznej i Procesowej, PAN, Instytut Aparatury Przemysłowej i Energetyki, Instytut Inżynierii Chemicznej i Chemii Fizycznej, Politechnika Krakowska, ss. 315 – 320, Kraków – Muszyna, 22 - 25 September, 1998

⁷¹ Bulewicz, E.M., Kandefers, S., **Piławska, M.**, Środa, B.: The Effect of Combustible Mixture Composition on the Oxidation of Gaseous Fuels in a Bubbling Fluidized Bed. 16th International Symposium on Combustion Processes, The Combustion Section of the Thermodynamics and Comb. Committee of the Polish Academy of Sciences, abstr. pp. 86 - 87, Kazimierz Dolny, 1999

Podsumowanie dorobku naukowego

a.) Ogólna charakterystyka dorobku

Lp.	Prace	Dorobek po doktoracie		
		wg WOS	wg Scopus	wg Publish or Parish
1.	Monografie i rozdziały w książkach w j. polskim - 2, w j. angielskim – 1 (ogółem)	3		
2.	Publikacje w czasopismach z bazy JCR	9		
3.	Inne publikacje recenzowane	35		
4.	Komunikaty i referaty konferencyjne	12		
5.	Patenty	2		
6.	Sumaryczny IF publikacji wg JCR	12.138		
7.	Cytowania (bez autocytowań)	98	108	171
8.	Indeks Hirscha	5	6	7

b.) Dane biometryczne prac naukowych opublikowanych po doktoracie

Lp.	Czasopismo z listy JCR	Liczba prac	Σ IF	Σ MNiSzW	cytowania zewnętrzne
1.	Combustion and Flame	4	8.060	120	27
2.	Fuel	2	3.894	56	14
3.	Journal of the Energy Institute	1	0.184	-	0
4.	Book Group Author(s): ASME, International Conference on Fluidized Bed Combustion	2	0.000	-	2
SUMA		9	12.138	176	44

c.) Inne publikacje recenzowane

Lp.	Czasopismo spoza listy JCR	Liczba prac	Σ MNiSzW
1.	Archivum Combustionis	2	3
2.	Chemistry for Agriculture	4	18
3.	Clean Air, International Journal on Energy for a Clean Environment International Conference Proceedings Clean Air	6	18
4.	International Symposium on Combustion Processes, International Conference Proceedings	9	54
5.	Fuels, Conference Proc.	1	3
6.	Circulating Fluidized Bed, International Conference Proceedings	1	-
7.	Fluidized Bed Combustion, International Conference Proceedings	6	-
8.	HKIE Transactions, International Conference Proceedings	1	-
9.	International Symposium on Combustion, International Conference Proceedings	1	-
10.	Trita-LWR, Conference Proceedings	1	-
11.	Baltic Combustion Meeting International Conference Proceedings	1	-
12.	Environment Protection Engineering, obecnie JCR -0.854	2	
SUMA		35	96
Razem wszystkie publikacje		44	264

D. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych i dydaktycznych.

(2 strony)

D.1. Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych

1. S. Kandefer, **M. Pilawska** (Główny wykonawca), J. Baron, W. Żukowski, J. Porzuczek, J. Wrona, M. Olek: NR 14-0010-04/2008, Optymalizacja instalacji i technologii spalania osadów ściekowych (projekt badawczy rozwojowy), **2008-2011**
2. S. Kandefer, **M. Pilawska** (Główny wykonawca), J. Baron, W. Żukowski: Program Specjalny Badań i Rozwoju Technologicznego oraz Demonstracji „Części B: Program energii – Energia, środowisko i zrównoważony rozwój” mający na celu wdrożenie projektu „Osady na Ciepło” (ang. Sludge for Heat), numer: NNE5/2001/468 5.PR UE, akronim projektu: **SFH, 2003-2005**
3. S. Kandefer, **M. Pilawska** (Główny wykonawca), J. Baron, W. Żukowski: Decyzja Przewodniczącego Komitetu Badań Naukowych Nr 137/E-360/SPB/5.PR UE/DZ 347/2003-2005 z dnia 11.06.2003, zakończony 2005, **2003-2005**
4. E.M. Bulewicz, S. Kandefer, **M. Pilawska** (główny wykonawca), J. Baron, W. Żukowski: Rozkład odpadowych substancji organicznych w palenisku fluidalnym, KBN, projekt badawczy nr 8/T10B/049/20. 2000-2003, zakończony
5. E.M. Bulewicz, S. Kandefer, **M. Pilawska** (kierownik grantu), W. Żukowski: Utylizacja węglowodorów i pochodnych w palenisku fluidalnym. KBN, projekt badawczy nr 8/T10B/023/14. 2000, zakończony
6. S. Kandefer S., **M. Pilawska** (główny wykonawca): Niskoemisyjne spalanie paliw gazowych w złożu fluidalnym. Grant promotorski KBN nr PB/345/T10/96/11. Ocena końcowa: wzorowy, 1997
7. E.M. Bulewicz, S. Kandefer, **M. Pilawska** (wykonawca): Fluid Bed Combustion of Natural Gas. DSS Contract Serial No.: 23440-5-1154/001/SQ, CANMET, ERL Division, Ottawa, Canada, January 1996

D.2. Aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych

- | | |
|---|-----------|
| 1. International Symposium on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh | 4 krotnie |
| 2. International Conference on Combustion Technologies for a Clean Environment, IST, Portugal | 4 krotnie |
| 3. International Symposium on Combustion Processes, The Combustion Section of the Thermodynamics and Combustion Committee of the Polish Academy of Sciences | 6 krotnie |
| 4. International Conference on Circulating Fluidized Beds, Huangju, China | 1 raz |
| 5. International Conference on Fluidized Bed Combustion, Beijing, China | 1 raz |
| 6. International Colloquium: Fuels. Technische Akademie Esslingen, Ostfildern | 1 raz |
| 7. Mediterranean Combustion Symposium, The Combustion Institute Turcja, Antalya | 1 raz |

D.3. Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych

- 2006-2009 Jako Członek Komisji Doradców ds. Zmiany Klimatu i Energii Przewodniczącego Komisji Europejskiej J. M. Barroso, w konferencjach, między innymi:
- *The Global Challenge of Energy and Climate Change: The EU Vision for a Sustainable Future after 2012*, **Lisbon**, Calouste Gulbenkian Foundation, 29 October 2007
 - *International Carbon Action Partnership Launching Ceremony*, Parque das Nações, Lisbon, Portugal 29th October, 2007
 - *Advisory group to President Barroso on Energy and Climate Change In European Medicines Agency, (EMA), 7 Westferry Circus, Canary Wharf, London E14 4HB, Monday 21st January 2008*

- Joint Meeting of Expert Panel on Climate Change to the Chinese Prime Minister, And Advisory Group to the European Commission President on Energy and Climate Change, **Beijing**, Regent Hotel, 25th April 2008

- Meeting of the Advisory Group to the President on Energy and Climate Change and Chinese Expert Panel on Climate Change, **Paris**, 27-28 November, 2008

- Politics and Policy-Making in the EU in the age of globalization **Brussels**, 15 December 2008

- EU-India High Level Seminar in **Delhi**, 3-4 February 2009

2009 jednorazowo, recenzent, przewodnicząca sesji, Konferencja International Conference on Fluidized Bed Combustion, Beijing, China, 2009

Od 2007 recenzent w czasopismach naukowych: Fuel, Waste Management, Environmental Engineering, Archivum Combustionis

D.4. Dydaktyka, tematyka zajęć dydaktycznych prowadzonych po uzyskaniu stopnia doktora

Lp.	Nazwa przedmiotu	Rodzaj zajęć							
		Wykład		Ćwiczenia tablicowe		Laboratorium/laboratorium komputerowe		Projekt	
		Studia stacjonarne	Studia niestacjonarne	Studia stacjonarne	Studia niestacjonarne	Studia stacjonarne	Studia niestacjonarne	Studia stacjonarne	Studia niestacjonarne
1.	Termodynamika	X	X	X	X				
2.	Ochrona Powietrza i Oczyszczanie Gazów	X				X		X	
3.	Technologie informacyjne	X		X					
4.	Seminarium Inżynierskie	X							
5.	Seminarium Dyplomowe	X							
6.	Pomiary cieplne	X	X	X	X	X	X		
7.	Rysunek techniczny		X				X		
8.	Urządzenia mechaniczne					X	X		
9.	Metody statystyczne			X					
10.	Grafika Inżynierska i Rysunek Techniczny			X	X	X	X		
11.	Wymiana ciepła i masy					X	X		