

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko

Krzysztof Jastrząb

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

1986 - mgr inż., Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach

Kierunek: technologia chemiczna nieorganiczna, specjalność : elektrochemia przemysłowa

Praca magisterska pt. *"Wpływ substancji organicznych oraz gęstości prądu na strukturę osadu katodowego w procesie elektrorafinacji miedzi"*, promotor: prof.dr hab.inż. W Gnot

1995 – dr nauk technicznych, Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach

specjalność: technologia chemiczna

Rozprawa doktorska z wyróżnieniem pt. *"Badania sorpcji dwutlenku siarki na nieruchomym złożu sorbentu węglowego SWS-6"*, promotor: prof.dr hab.inż. J.Szarawara

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Wydział Chemiczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Instytut Chemii, Technologii Nieorganicznej i Elektrochemii, a następnie Katedra Chemii, Technologii Nieorganicznej i Paliw:

| | |
|-------------------|----------|
| 10.1986 - 09.1988 | chemik |
| 10.1988 - 08.1996 | asystent |
| 09.1996 - 08-2011 | adiunkt |
| 09.2011 - 08.2012 | asystent |

Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze

| | |
|-------------------|---|
| 09.2012 - 03.2013 | starszy specjalista inżynierijno-techniczny |
| 04.2012 - nadal | adiunkt |
| 01.2015 - nadal | kierownik Zespołu Oczyszczania Gazów |

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. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Podstawy fizykochemiczne technologii adsorpcyjno-katalitycznego oczyszczania spalin przemysłowych przy użyciu polskich koksów aktywnych

b) pakiet publikacji wchodzący w skład osiągnięcia naukowego:

1. J.Szarawara, S.Anioł, K.Jastrząb, Z.Dębowski, *Badania sorpcji SO₂ na sorbentach węglowych przeznaczonych do odsiarczania spalin*, Przemysł Chemiczny, 1990, 69, 509-512
2. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Investigations of the SO₂ sorption on a carbon sorbent, Part I - Properties of the process*, Polish Journal of Applied Chemistry, 1996, 40, 187-204
3. K.Jastrząb, M.Zin, *Porównanie właściwości koksów aktywnych stosowanych w przemysłowych instalacjach oczyszczania gazów spalinowych*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2000, 3, 377-388
4. K.Jastrząb, *Metody oceny właściwości sorbentów węglowych pod względem przydatności do przemysłowego odsiarczania spalin*, Inżynieria Chemiczna i Ekologiczna, 2001, 8, 1043-1046
5. K.Jastrząb, *Properties of activated cokes used for flue gas treatment in industrial waste incineration plants*, Fuel Processing Technology, 2012, 101, 16-22
6. S.Stelmach, K.Jastrząb, *Porównanie właściwości komercyjnych koksów aktywnych*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2013, 16, 373-383
7. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Investigations of the SO₂ sorption on a carbon sorbent, Part IV - Equilibrium of the process*, Polish Journal of Applied Chemistry, 1996, 40, 227-235
8. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Investigations of the SO₂ sorption on a carbon sorbent, Part II - Dynamics of the process*, Polish Journal of Applied Chemistry, 1996, 40, 205-213
9. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Investigations of the SO₂ sorption on a carbon sorbent, Part III - Empirical model of the process*, Polish Journal of Applied Chemistry, 1996, 40, 215-225
10. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Investigations of the SO₂ sorption on a carbon sorbent, Part VI - Determination of the process range*, Polish Journal of Applied Chemistry, 1997, 41, 159-168
11. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Model kinetyczny procesu sorpcji SO₂ na sorbencie węglowym*, rozdział w recenzowanej monografii II Kongresu Technologii Chemicznej, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 1998, t.2, s.762-766, 1998. ISBN 83-7125-035-5
12. K.Jastrząb, *Investigations of the SO₂ sorption on a carbon sorbent, Part IX - The thermal effect of the process*, Polish Journal of Applied Chemistry, 2000, 44, 19-30
13. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Investigations of the SO₂ sorption on a carbon sorbent, Part VII - Scaling-up of the process*, Polish Journal of Applied Chemistry, 1997, 41, 327-336
14. K.Jastrząb, J.Szarawara, S.Anioł, *Badania procesu redukcji tlenków azotu gazowym amoniakiem na sorbentach węglowych*, Przemysł Chemiczny, 1994, 73, 66-68
15. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Determination of a steady-state operation of a reactor for NO reduction by NH₃ on a carbon sorbent*, Polish Journal of Chemical Technology, 2002, 1, 4-7
16. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Properties of the process of reduction of nitrogen oxides on a carbon sorbent*, Archiwum Ochrony Środowiska, 1998, 24, 59-75

17. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Determination of the rate regime of the catalytic process of reducing of nitrogen oxide by means of ammonia on the active coke*, Polish Journal of Chemical Technology, 2002, 3, 8-12
18. K.Jastrząb, *Kinetics of the reduction of nitrogen oxides with ammonia on a carbon sorbent*, Polish Journal of Applied Chemistry, 1998, 42, 3-12
19. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Kinetics of nitrogen oxide reduction by means of ammonia on a Polish carbon sorbent*, Polish Journal of Environmental Studies, 2002, 11, 689-693
20. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Badania nad powiększaniem skali reaktora do prowadzenia redukcji tlenków azotu na sorbencie węglowym AKP*, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2001, 3, 5-9
21. K.Jastrząb, *Redukcja tlenku azotu metanem na koksie aktywnym AKP*, Przemysł Chemiczny, 2003, 82, 1023-1025
22. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Katalityczna redukcja tlenków azotu węglowodorami na koksie aktywnym*, rozdział w recenzowanej monografii „*Węgiel aktywny w ochronie środowiska*”, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 2004, s.375-384. ISBN-83-7193-247-2.
23. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Model kinetyczny procesu redukcji tlenku azotu na katalizatorze węglowym modyfikowanym niklem*, Przemysł Chemiczny, 2006, 85, 726-728
24. K.Jastrząb, J.Szarawara, *Badania kinetyki redukcji tlenków azotu węglowodorami na koksie aktywnym modyfikowanym kobaltem*, rozdział w recenzowanej monografii „*Węgiel aktywny w ochronie środowiska i przemyśle*”, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 2006, s.338-344. ISBN 978-83-7193-303-5.
25. K.Jastrząb, P.Skiba, *Opis kinetyki redukcji NO węglowodorami na katalizatorze węglowo-żelazowym za pomocą sztucznych sieci neuronowych*, Przemysł Chemiczny, 2006, 85, 723-725
26. K.Jastrząb, *Usuwanie par rtęci na złożu koksu aktywnego AKP-5*, rozdział w recenzowanej monografii „*Węgiel aktywny w ochronie środowiska i przemyśle*”, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 2008, s.225-234. ISBN 978-83-7193-377-6.
27. K.Jastrząb, *Badania nad usuwaniem par rtęci metalicznej z gazów odlotowych na złożu koksu aktywnego AKP-5S*, Przemysł Chemiczny, 2011, 90, 1527-1530
28. K.Jastrząb, S.Stelmach, J.Figa, *Adsorbenty węglowe otrzymane ze zużytych opon przeznaczone do usuwania rtęci z gazów spalinowych*, rozdział w recenzowanej monografii „*Węgiel aktywny w ochronie środowiska i przemyśle*”, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 2008, s.157-167. ISBN 978-83-7193-377-6.
29. S.Stelmach, J.Figa, K.Jastrząb, A.Sobolewski, *Sposób otrzymywania sorbentu*, patent polski nr 213528 z dnia 2013.11.06
30. J.Szarawara, S.Anioł, K.Jastrząb, *Badania desorpcji dwutlenku siarki z sorbentów węglowych w procesie odsiarczania spalin*, Przemysł Chemiczny, 1992, 71, 321-323
31. K.Jastrząb, *Regeneration of spent active coke used for the removal of mercury from flue gases*, rozdział w Proceedings of the 40th International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering, Tatranské Matliare, Słowacja, maj 2013, s.276-282. ISBN 978-80-89475-09-4

167A

32. K.Jastrząb, *Badania regeneracji termicznej adsorbentów węglowych przeznaczonych do usuwania rtęci z przemysłowych gazów spalinowych*, Rozdział w recenzowanej monografii „Rtęć w środowisku”, Wyd.UG, Gdańsk 2013, s.229-234. ISBN 978-83-7865-090-4
33. K.Jastrząb, I.Mazurek, *Badania desorpcji termicznej związków rtęci ze zużytych kokсів aktywnych stosowanych do końcowego oczyszczania spalin w spalarniach odpadów*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2013, 16, 271-283
34. K.Jastrząb, I.Mazurek, *Badania regeneracji termicznej koksu aktywnego stosowanego do usuwania rtęci z gazów spalinowych*, rozdział w recenzowanej monografii "Ochrona powietrza w teorii i praktyce", Wyd. IPIŚ PAN Zabrze 2014, s.57-68. ISBN 978-83-60877-13-5
35. J.Szarawara, S.Anioł, K.Jastrząb, J.Marszałek, *Mokra regeneracja sorbentu węglowego przeznaczonego do odsiarczania gazów spalinowych*, Przemysł Chemiczny, 1996, 75, 178-180
36. K.Jastrząb, *Changes of activated coke properties in cyclic adsorption flue gas treatment*, Fuel Processing Technology, 2012, 104, 371-377
37. K.Jastrząb, *Oznaczanie temperatury zapłonu kokсів aktywnych stosowanych do oczyszczania gazów spalinowych*, Przemysł Chemiczny, 2012, 91, 69-74

c) omówienie celu naukowego ww. prac, osiągniętych wyników z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Przyjęte w kwietniu 2017 r. konkluzje BAT dla dużych obiektów energetycznego spalania (LCP) zaostriżyły standardy emisyjne podstawowych zanieczyszczeń spalin: pyłu, ditlenku siarki i tlenków azotu. Konkluzje wprowadziły ponadto obostrzenia w stosunku do innych zanieczyszczeń takich jak rtęć, chlorowodór, fluorowodór i amoniak. Niestety z uwagi na odmienne właściwości poszczególnych zanieczyszczeń, muszą być one usuwane w odrębnych procesach i urządzeniach. Znacząco to komplikuje i podraża sumaryczny koszt dotrzymania standardów emisyjnych. Należy podkreślić, że nowe przepisy obowiązują nie tylko dla instalacji energetycznego spalania paliw, ale także instalacji zgazowania oraz spalarni odpadów.

Jedną z technologii umożliwiających usunięcie wszystkich zanieczyszczeń ze spalin w jednym procesie jest sucha metoda wykorzystująca adsorbenty węglowe. Najbardziej znana jest technologia BF (Bergbau Forshung) wdrożona w energetyce w Niemczech w latach 80-tych ubiegłego wieku. Jej rozwinięciem jest amerykańska technologia MET-Mitsui-BF. W Japonii w dużych obiektach przemysłowych rozwijana jest technologia React. Intensywne prace są również prowadzone w Korei Południowej i Chinach. W każdej z tych technologii, oczyszczanie spalin prowadzone jest w złożu adsorbentu węglowego, zwanego koksem aktywnym (AC), przez które przepływa faza gazowa. Koks aktywny to adsorbent węglowy o odpowiednich właściwościach adsorpcyjno-katalitycznych i uziarnieniu, wysokiej temperaturze zapłonu i dużej wytrzymałości mechanicznej.

MA

Proces oczyszczania spalin jest kilkuetapowy. W pierwszym etapie na powierzchni koksu aktywnego adsorbowany jest SO_2 . Po katalitycznym utlenieniu, gromadzi się on w strukturze porowatej AC jako kwas siarkowy. W drugim stopniu oczyszczania do odsiarczonych spalin, przepływających przez złożę koksu aktywnego, dozowany jest amoniak. Na powierzchni węgla zachodzi wówczas katalityczna redukcja tlenków azotu, analogiczna do klasycznego procesu SCR. Równocześnie ze spalin usuwane są inne zanieczyszczenia takie jak metale ciężkie (Hg), trwałe związki organiczne (POPs), chlorowódór i in. Zużyty, wysycony związkami siarki koks aktywny jest poddawany regeneracji i zwracany do procesu. Najczęściej stosowana jest desorpcja termiczna. Powstający podczas regeneracji gazowy SO_2 o dużym stężeniu jest przetwarzany w odrębnym procesie.

Metoda adsorpcyjnego oczyszczania spalin posiada szereg zalet. Jest to metoda sucha, co eliminuje korozję instalacji i zarastanie osadami. Oczyszczanie spalin prowadzi się w temperaturze $120\text{-}180^\circ\text{C}$ (powyżej punktu rosy), co eliminuje operacje chłodzenia i podgrzewania gazów przed skierowaniem do komina. Jest to metoda bezodpadowa. Zasadniczą wadą procesu są wysokie koszty operacyjne. Wynikają one ze zużywania się koksu aktywnego oraz dużego zapotrzebowania na energię w procesie regeneracji.

W pod koniec ubiegłego wieku na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach rozpocząłem kompleksowe badania nad podstawami krajowej technologii oczyszczania spalin z użyciem koksów aktywnych. Badania te można podzielić na 6 etapów:

- badania właściwości koksów aktywnych i dobór polskiego koksu aktywnego odpowiedniego do technologii adsorpcyjnego oczyszczania spalin;
- badania procesu adsorpcyjno-katalitycznego usuwania ditlenku siarki na koksach aktywnych;
- badania katalitycznej redukcji tlenków azotu amoniakiem na koksach aktywnych;
- nowatorskie badania katalitycznej redukcji tlenków azotu węglowodorami na koksach aktywnych (technologia HC-SCR);
- badania usuwania rtęci i jej związków z fazy gazowej połączone z opracowaniem nowatorskich adsorbentów rtęci otrzymanych na bazie odpadów gumowych;
- badania procesów regeneracji zużytych koksów aktywnych.

Podstawowym celem naukowym powyższych badań było kompleksowe przebadanie właściwości fizykochemicznych poszczególnych procesów jednostkowych występujących w technologii adsorpcyjnego oczyszczania spalin i ich opisanie zależnościami matematycznymi, kinetycznymi i równowagowymi. Zależności te, oprócz znaczenia poznawczego, mogą być wykorzystane do celów projektowych jak również posłużyć do określenia optymalnych warunków prowadzenia procesu w warunkach przemysłowych. Należy podkreślić, że w ramach wykonanych badań zająłem się kilkoma zagadnieniami będącymi nowością naukową. Były to:

- redukcja tlenków azotu węglowodorami na koksach aktywnych i katalizatorach otrzymanych na bazie koksów aktywnych (HC-SCR);
- preparatyka ziarnistych i granulowanych adsorbentów węglowych na bazie pirolizatów z odpadów gumowych i ich wykorzystanie do usuwania rtęci i jej związków ze spalin;

- określenie zmian właściwości koksu aktywnego w cyklicznym procesie sorpcja SO₂ - termiczna regeneracja.

Wykonane badania pozwoliły na opracowanie założeń technologii adsorpcyjnego-katalitycznego oczyszczania spalin przemysłowych z wykorzystaniem polskich kokсів aktywnych. Wyniki poszczególnych badań zostały opisane w zbiorze monotematycznych publikacji, będących podstawą osiągnięcia naukowego. Szczegółowy przewodnik omawiający wszystkie prace wraz z literaturą dołączono do pakietu publikacji. Poniżej przedstawiono jedynie syntetyczne streszczenie wykonanych badań stanowiących osiągnięcie naukowe.

- a) Opracowanie procedur badania właściwości sorpcyjnych i katalitycznych kokсів aktywnych oraz dobór kokсів aktywnych pod kątem zastosowania do przemysłowego oczyszczania spalin

Podstawowym problemem technologicznym podczas opracowania technologii adsorpcyjnego oczyszczania spalin był dobór sorbentu węglowego o odpowiednich właściwościach adsorpcyjnych i katalitycznych. Spośród szeregu polskich adsorbentów węglowych, zarówno komercyjnych jak i otrzymanych w warunkach laboratoryjnych, na podstawie badań wytypowałem laboratoryjny karbonizat K-13, posiadający dobre właściwości adsorpcyjne w stosunku do SO₂ [1]. Był on bazą do otrzymania w GIG w Katowicach nowego półprzemysłowego sorbentu węglowego SWS-6 [2], a następnie komercyjnego koksu aktywnego AKP-5, produkowanego w zakładach Gryfskand w Hajnówce [3]. Istotnym problemem, który rozwiązałem podczas badań kokсів aktywnych był dobór odpowiednich procedur badawczych, umożliwiających porównanie właściwości adsorpcyjnych i katalitycznych różnych materiałów [4,5]. W trakcie tych badań utworzyłem unikatowe w Polsce i jedno z niewielu na świecie laboratorium, do kompleksowych badań oczyszczania spalin przy użyciu kokсів aktywnych w warunkach zbliżonych do przemysłowych. W laboratorium tym, w oparciu o opracowane procedury, badałem właściwości kokсів aktywnych różnych producentów, zarówno polskich (Gryfskand) [3,5] jak i zagranicznych (Carbotech, Mitsui, producenci chińscy) [6]. Określałem w nich właściwości adsorpcyjno-katalityczne w stosunku do SO₂, aktywność w procesie katalitycznej redukcji NO_x amoniakiem oraz właściwości adsorpcyjne w stosunku do par rtęci metalicznej i jej związków.

- b) Badania adsorpcyjno-katalitycznego odsiarczania spalin na kokсах aktywnych.

Tematyka badań usuwania ditlenku siarki na sorbencie węglowym SWS-6 była przedmiotem mojej pracy doktorskiej z 1995 r. W następnych latach kontynuowałem badania odsiarczania spalin na kokсах aktywnych, co zaowocowało publikacjami naukowymi obejmującymi następujące zagadnienia:

- Wykonałem uzupełniające badania nad wpływem różnych parametrów na przebieg sorpcji SO₂ na kokсах aktywnych. Na tej podstawie opracowałem wieloparametrowe

10/14

równania, umożliwiające obliczenie stężenia SO_2 zarówno w oczyszczanych gazach jak i złożu koksu aktywnego w funkcji czasu, temperatury i składu początkowego fazy gazowej [2]. Wykazałem, że w przypadku gazu o zawartości powyżej 5% O_2 i 8% H_2O , nawet stosunkowo duże wahania stężenia tlenu i pary wodnej nie mają zasadniczego wpływu na przebieg procesu. Wynika stąd istotny wniosek, że do opisu adsorpcji SO_2 ze spalin o standardowym składzie wystarczy uproszczone równanie uwzględniające jedynie temperaturę, czas i stężenie SO_2 .

- Przeprowadziłem nową interpretację wyników badań dynamiki sorpcji SO_2 uzupełnionych o dodatkowe pomiary sorpcji w adsorberze ze zmienną wysokością złoża koksu aktywnego. Opracowałem nowe, wieloparametrowe równania opisujące dynamikę procesu sorpcji SO_2 . Pozwalają one na określenie średniego i rzeczywistego stopnia wysycenia koksu aktywnego przez związki siarki w dowolnym miejscu adsorbera w funkcji czasu oraz średnią i rzeczywistą szybkość adsorpcji [7,8]. Ujęcie takie nie było dotychczas prezentowane w literaturze.
 - Na podstawie wyników opisanych w poprzednim punkcie oraz rozważań teoretycznych, opracowałem wieloparametrowy model umożliwiający obliczenie sprawności usuwania SO_2 w zależności od czasu, stężenia początkowego SO_2 i wysokości złoża adsorbentu [9]. Poprzez numeryczne całkowanie otrzymanej zależności można obliczyć średnie stężenie SO_2 w złożu koksu aktywnego.
 - Traktując sorpcję SO_2 jako katalityczny proces heterogeniczny, określiłem najwolniejszy etap procesu [10]. Wykazałem, że proces biegnie w obszarze kinetycznym, przy stosunkowo niewielkim wpływie zjawisk dyfuzyjnych. Na podstawie kryterium temperaturowego oszacowałem pozorną energię aktywacji sorpcji SO_2 . Wykorzystując model Langmuira-Hinshelwooda oraz teorię dezaktywacji katalizatora opracowałem teoretyczny model kinetyczny sorpcji SO_2 [11].
 - Opracowałem metodykę bilansu cieplnego procesu sorpcji SO_2 w układzie przepływowym z nieruchomym złożem koksu aktywnego. Zaprojektowałem i wykonałem przepływowy reaktor adiabatyczny, który jest unikatowym, oryginalnym rozwiązaniem. Doświadczalnie wyznaczyłem ciepło adsorpcji SO_2 , pomimo niestacjonarnego charakteru procesu [12]. Efekt cieplny procesu sorpcji SO_2 jest porównywalny z entalpią tworzenia kwasu siarkowego.
 - Na podstawie kryteriów podobieństwa przepływu i chemicznego określiłem warunki badań powiększania skali adsorbera SO_2 . Doświadczalnie wykazałem, że przenoszenie wyników uzyskanych w reaktorze laboratoryjnym bezpośrednio na większą skalę jest w pełni uzasadnione [13].
- c) Badania katalitycznej redukcji tlenków azotu amoniakiem na koksach aktywnych. Wykonane badania obejmują zarówno prace poznawcze jak i technologiczne:
- W trakcie wstępnych badań redukcji tlenków azotu amoniakiem wykazałem, że jest to proces kontaktowy, w którym rolę katalizatora pełni koks aktywny [14]. Proces redukcji

zachodzi w temperaturze 120-180°C, co jest charakterystyczną właściwością odróżniającą go od klasycznego procesu SCR. Wykazałem, że adsorpcja NO zachodzi słabo na powierzchni koksu aktywnego, natomiast w obecności amoniaku stosunkowo łatwo zachodzi jego redukcja. Reaktor z nieruchomym złożem koksu aktywnego charakteryzuje się długim okresem pracy niestacjonarnej, który wynosi od 2 do 15 godzin w zależności parametrów procesu [15]. Kompleksowe badania redukcji tlenków azotu pozwoliły na określenie wpływu różnych parametrów na skuteczność usuwania tlenków azotu. Przeprowadziłem wpływ czasu kontaktu (wysokości złoża), temperatury, stężenia NO, NH₃, O₂ i H₂O na stopień redukcji. Uzyskane wyniki opisałem szeregiem równań trzech zmiennych [16].

- Na podstawie badań obszaru redukcji NO amoniakiem wykazałem, że w temperaturze powyżej 100°C proces zachodzi w obszarze kinetycznym, a jego pozorna energia aktywacji wynosi 30 kJ/mol [17]. Na podstawie danych doświadczalnych opracowałem dwa modele kinetyczne redukcji NO_x amoniakiem. W pierwszym przybliżeniu proces opisałem klasycznym modelem homogenicznym [18]. Lepsze wyniki uzyskałem traktując redukcję jako proces heterogeniczny i wyznaczając równanie kinetyczne na bazie modelu Younga-Hougena [19].
- Wykonałem badania powiększając skalę reaktora redukcji NO_x amoniakiem analogicznie jak w przypadku badań sorpcji SO₂. Wykazałem, że przenoszenie wyników uzyskanych w reaktorze laboratoryjnym bezpośrednio na większą skalę jest w pełni uzasadnione [20]. Ponadto posługując się adiabatycznym reaktorem przepływowym opracowanym podczas badań sorpcji SO₂, wyznaczyłem efekt cieplny redukcji NO amoniakiem. Pozwoliło to ustalić prawdopodobny mechanizm procesu.

d) Badania katalitycznej redukcji tlenków azotu węglowodorami na koksach aktywnych.

Są to badania o charakterze nowatorskim. Podjąłem w nich próbę zastosowania węglowodorów jako czynnika redukcyjnego NO_x (metoda HC-SCR) z wykorzystaniem koksu aktywnego jako katalizatora. Rozwiązanie to miało na celu obniżenie kosztów usuwania tlenków azotu poprzez zastąpienie stosunkowo drogiego amoniaku przez tańsze reduktory organiczne. Byłoby ponadto bardzo atrakcyjne przy równoczesnym zachowaniu niskiej temperatury procesu, będącej szczególną właściwością redukcji NO_x amoniakiem na koksach aktywnych.

- W pierwszym etapie badałem redukcję NO metanem na komercyjnym koksie aktywnym AKP-5 [21]. Niestety, że w temperaturze do 300°C redukcja NO nie zachodziła, a w temperaturze 400°C podstawowym czynnikiem redukcyjnym była materia węglowa koksu aktywnego. Dopiero w temperaturze 600°C reduktorem był metan. Wykazałem, że reaktywność organicznych czynników redukujących rośnie z wydłużeniem łańcucha [22]. We wszystkich przypadkach minimalną temperaturą redukcji NO było 300°C. Wzrost temperatury zwiększał stopień redukcji tlenków azotu i w temperaturze 600°C przy czasie kontaktu 12 s były one całkowicie usuwane.

- W celu zwiększenia reaktywności koks aktywnego w technologii HC-SCR otrzymałem dwie grupy katalizatorów, w których koks aktywny stanowił matrycę. Były to katalizatory na bazie metali szlachetnych i metali grup przejściowych. Najwyższe stopnie przereagowania NO_x uzyskałem na katalizatorze AC/Pt, jednak powstawanie znacznych ilości podtlenku azotu, szczególnie w niskich temperaturach, zdyskwalifikowało ten katalizator.
- Dalsze badania procesu HC-SCR prowadziłem przy użyciu najbardziej aktywnych katalizatorów otrzymanych na bazie niklu (AC/Ni), kobaltu (AC/Co) oraz żelaza (AC/Fe) oraz propanu-butanu jako reduktora. Na podstawie badań kinetyki redukcji NO na wyspecyfikowanych reduktorach oraz modelu Younga-Hougena opracowałem modele kinetyczne redukcji HC-SCR na katalizatorach C/Ni i C/Co [23,24]. Opisałem również kinetykę redukcji tlenków azotu propanem-butanem na katalizatorze AC/Fe za pomocą sztucznych sieci neuronowych [25]. Opracowana sieć pozwalała na precyzyjne przewidywanie stopnia redukcji tlenków azotu w przebadanym zakresie parametrów.

Pomimo uzyskania obiecujących wyników, praktyczne zastosowanie metody HC-SCR do oczyszczania spalin jest ograniczone. Po pierwsze redukcja NO_x węglowodorami zachodziła w wyższych temperaturach niż oczekiwana. Po drugie, w niskich temperaturach matryca węglowa stanowi konkurencyjny reduktor w stosunku do węglowodorów. Dodatkowo uzyskanie wysokich stopni przereagowania tlenków azotu wymaga stosowania dużego nadmiaru węglowodorów.

e) Badania adsorpcyjnego usuwania rtęci i jej związków ze spalin przemysłowych.

Jest to kolejny etap badań nad kompleksowym oczyszczaniem spalin na materiałach węglowych. Nowością naukową i technologiczną były badania nad usuwaniem rtęci z wykorzystaniem adsorbentów węglowych otrzymanych z karbonizatów po przetwórstwie odpadów gumowych. Praktyczne zastosowanie takich adsorbentów rozwiązałyby dwa problemy – zagospodarowanie stałej pozostałości po przetwórstwie opon oraz usuwanie rtęci ze spalin. Przesłanką do takiego rozwiązania jest duża zawartość siarki (do 5 %) w pirolizatach z odpadów gumowych. Realizując powyższe zagadnienie wykonałem następujące prace:

- Przebywałem proces usuwania rtęci i jej związków na komercyjnych koksach aktywnych typu AKP stosowanych w spalarniach odpadów w Polsce [26,27]. Na potrzeby badań opracowałem metodykę oznaczania śladów rtęci w fazie gazowej tzw. metodę „gold-trap”. Wykazałem dużą skuteczność usuwania par rtęci na koksach aktywnych AKP w warunkach dynamicznych, nawet w temperaturze 160°C . Zastosowanie złoża koks aktywnego o wysokości 0,2 m zapewnia całkowite usunięcie rtęci z gazów przez okres 3 godzin nawet przy bardzo dużym stężeniu par rtęci. Uzyskane wyniki opisałem 5-parametrowymi funkcjami, umożliwiającymi obliczenie stężenia rtęci w fazie stałej i gazowej. Mogą one być wykorzystane do celów projektowych.

W/A

- Przebadalem proces usuwania rtęci na ziarnistych, odpadowych pirolizatach otrzymanych podczas termicznej przerobki odpadów gumowych (zużytych opon) [28]. Były to dwa typy karbonizatów: otrzymane w piecu obrotowym oraz w retorcie ze stałym złożem. Badania prowadziłem przy współpracy z IChPW w Zabrze. Badania wykazały wysoką skuteczność usuwania rtęci przez oba karbonizaty, porównywalną z komercyjnymi koksami aktywnymi AKP. Stwierdziłem wyraźne polepszenie skuteczności usuwania par rtęci wraz ze wzrostem temperatury, szczególnie w przedziale temperatur 80-120°C. Niestety oba pirolizaty miały bardzo małą wytrzymałość mechaniczną, co ogranicza ich zastosowanie w układzie z ruchomym złożem.
- Kolejnym etapem badań była preparatyka granulowanych adsorbentów otrzymanych na bazie odpadów gumowych. Przy współpracy z IChPW w Zabrze opracowałem metodykę granulacji pirolizatu z opon przy użyciu różnych lepiszczy - melasy, żywicy rezolowej i smoły. Granulaty poddawano beztlenowej karbonizacji a uzyskane produkty badano pod kątem przydatności do usuwania rtęci z fazy gazowej. Najlepsze właściwości adsorpcyjne w stosunku do rtęci miał granulaty otrzymane na bazie melasy. Niestety słaba wytrzymałość mechaniczna dyskwalifikuje jego wykorzystanie. Z kolei granulaty na bazie żywicy rezolowej były najbardziej wytrzymałe, ale jego właściwości adsorpcyjne najgorsze. W celu poprawy właściwości adsorpcyjnych otrzymane materiały poddano aktywacji parowej. Proces aktywacji znacząco zwiększył powierzchnię właściwą, a co za tym idzie zdolność chłonną aktywatorów w stosunku do rtęci. Określono optymalne parametry aktywacji. Wytypowano aktywator otrzymany na bazie żywicy rezolowej i pylistego karbonizatu z odpadów gumowych jako najbardziej perspektywiczny materiał adsorpcyjny. Jego właściwości adsorpcyjne są porównywalne z komercyjnym koksem aktywnym AKP-5. Sposób preparatyki granulowanych adsorbentów został opatentowany [29].

Uzyskane wyniki potwierdziły możliwość wykorzystania odpadowego pirolizatu po termicznym przetworzeniu zużytych opon samochodowych do otrzymywania skutecznych, tanich adsorbentów do usuwania par rtęci z gazów odlotowych.

f) Badania regeneracji zużytych koksów aktywnych i określenie zmian właściwości koksów aktywnych.

- Przebadalem termiczną desorpcję SO_2 ze zużytego koksu aktywnego w różnych temperaturach [30]. Wykazałem, że w temperaturze 450°C stopień desorpcji SO_2 przekracza 99% po upływie 2 godzin. Zastosowanie nieznacznego przepływu gazu inertnego przez złożę koksu aktywnego obniżyło temperaturę desorpcji do 400°C. W trakcie regeneracji termicznej zaobserwowałem ubytek masy koksu aktywnego proporcjonalny do ilości zdesorbowanego SO_2 . Jest to niekorzystne zjawisko będące

10/11

efektem redukcji zaadsorbowanych związków siarki za pomocą materiału węglowego koksu aktywnego.

- Przeprowadziłem badania desorpcji rtęci i jej związków z powierzchni zużytego koksu aktywnego. Badania objęły desorpcje rtęci metalicznej [31,32] oraz lotnych związków rtęci: HgCl_2 [33] i HgJ_2 [34]. Badania kinetyki desorpcji w różnych temperaturach wykazały, że rtęć metaliczna całkowicie desorbuje się z powierzchni koksu aktywnego w temperaturze 400°C po upływie 2 godzin. Całkowita desorpcja związków rtęci zachodzi w niższej temperaturze (350°C dla HgCl_2 oraz 300°C dla HgJ_2). Wynika stąd, że rtęć i jej związki będą całkowicie usuwane z powierzchni koksu aktywnego w trakcie termicznej desorpcji SO_2 .
- Przebadalem alternatywną metodę regeneracji sorbentu metodą mokrą [35]. Do wymywania produktów sorpcji SO_2 stosowałem wodę oraz rozcieńczone roztwory kwasu siarkowego. Wymywanie w kaskadzie 4 reaktorów z nieruchomym złożem, pozwoliło uzyskać końcowy stopień regeneracji dochodzący do 90%. Niestety produktem regeneracji jest trudny do zagospodarowania, silnie zanieczyszczony roztwór kwasu siarkowego o stężeniu do 25%. Zaletą mokrej metody regeneracji jest brak chemicznego zużycia sorbentu, które występuje podczas desorpcji termicznej.

Istotną cechą termicznej regeneracji koksu aktywnego jest jego chemiczne zużycie, spowodowane „wypaleniem” matrycy węglowej podczas redukcji zaadsorbowanych związków siarki. Powoduje to zmiany struktury porowatej koksu aktywnego i ma wpływ na jego właściwości sorpcyjne i katalityczne. Przeprowadziłem kompleksowe badania zmiany właściwości dwóch rodzajów koksu aktywnego w cyklicznym procesie sorpcja SO_2 - termiczna regeneracja [36]. Wykazałem, że kolejne cykle powodują stopniowy ubytek masy powiązany ze zmianą struktury porowatej – wzrostem powierzchni właściwej i objętości mikroporów. Opisującym zmianom towarzyszy niekorzystne obniżenie temperatury zapłonu [37] jak również spadek wytrzymałości mechanicznej i gęstości nasypowej. W kolejnych cyklach polepszają się właściwości adsorpcyjne AC w stosunku do SO_2 i par rtęci. Skuteczność redukcji tlenków azotu amoniakiem nie zależy od liczby cykli sorpcja - regeneracja. Należy podkreślić, że opisane powyżej badania zmian właściwości sorpcyjnych i katalitycznych nie były dotychczas publikowane.

Wyniki badań przedstawione w omawianym cyklu publikacji tworzą fizykochemiczne i technologiczne podstawy zastosowania wybranych, polskich kokсів aktywnych w technologii adsorpcyjnego oczyszczania spalin przemysłowych. Szeroko zakrojonymi badaniami własnymi objęto:

- sorpcję SO_2 , katalityczną redukcję tlenków azotu amoniakiem oraz dwie metody regeneracji zużytych kokсів aktywnych;
- kinetykę poszczególnych procesów oczyszczania, dla których opracowano szereg modeli kinetycznych;
- ustalenie optymalnych parametrów technologicznych prowadzenia poszczególnych procesów oczyszczania, jak również warunki przenoszenia wyników na większą skalę;

WIK

- potwierdzenie możliwości zastosowania polskich koksów aktywnych w cyklicznym procesie sorpcja-regeneracja i określenie wpływu cykliczności tego procesu na zmianę właściwości fizykochemicznych, sorpcyjnych i katalitycznych.

Nowością naukową w przedstawianym cyklu publikacji jest próba zastosowania metody HC-SCR do usuwania tlenków azotu na koksach aktywnych i katalizatorów na bazie koks aktywnego. Przemysłowa realizacja takiego rozwiązania dałaby znaczące oszczędności dzięki zastosowaniu tańszego reduktora i obniżeniu temperatury procesu.

Cenny jest szczegółowy opis przebiegu adsorpcji par rtęci na przemysłowych koksach aktywnych typu AKP jak również ustalenie optymalnych warunków usuwania rtęci. Nowością naukową jest próba zastosowania tanich adsorbentów otrzymanych z pirolizatu po termicznym przetwórstwie odpadów gumowych do usuwania rtęci ze spalin.

Zaprezentowane w pakiecie publikacji wyniki badań właściwości polskich koksów aktywnych oraz badania poszczególnych procesów technologii adsorpcyjno-katalitycznego oczyszczania spalin przemysłowych stanowią naukowo-badawczą podstawę do przemysłowej realizacji tej technologii.

5 . Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moim głównym kierunkiem zainteresowań badawczych jest zastosowanie adsorbentów węglowych do oczyszczania przemysłowych gazów odlotowych. Kompleksowe ujęcie tego zagadnienia stanowi podstawę postępowania habilitacyjnego i zostało przedstawione jako pakiet publikacji w poprzednim rozdziale. Moje pozostałe prace naukowe oraz zainteresowania badawcze są związane z zagadnieniami związanymi z ochroną środowiska i technologią chemiczną, ze szczególnym uwzględnieniem oczyszczania fazy gazowej. Zagadnienia te można podzielić na trzy zasadnicze kierunki:

- ograniczenie emisji rtęci i jej związków do atmosfery;
- ograniczenie emisji ditlenku węgla do atmosfery;
- zagadnienia badawcze w związane z technologią chemiczną.

5.1. Osiągnięcia naukowo-badawcze związane z ograniczeniem emisji rtęci i jej związków do atmosfery

Ograniczenie emisji rtęci do atmosfery to istotny temat badawczy z uwagi na szereg nowych aktów prawnych obowiązujących w Polsce i Unii Europejskiej. Są to „Dyrektywa IED” obowiązująca od 2010 r., „Konkluzje BAT” przyjęte w 2017 r. czy też podpisana przez Polskę w 2014 r. „Konwencja rtęciowa z Minamata”. Zagadnieniami naukowo-badawczymi związanymi z ograniczeniem emisji rtęci do atmosfery zająłem się po raz pierwszy w 2005 r., w ramach kierowanego przeze mnie grantu „*Sorbenty węglowe otrzymywane ze zużytych opon samochodowych przeznaczone do usuwania par rtęci z przemysłowych gazów odlotowych*”. Projekt ten realizowałem w latach 2005-2008 przy współpracy naukowej z Instytutem Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze. Zagadnienia realizowane w ramach tego

16/14

projektowi wchodził skład osiągnięcia naukowego omówionego w poprzednim rozdziale. Oprócz omówionych tam osiągnięć naukowych, wymiernym efektem realizacji projektu było opracowanie nowych technik analitycznych rtęci w fazie gazowej (uruchomiłem jeden z pierwszych w kraju analizatorów rtęci) oraz stworzenie unikalnego w skali kraju laboratorium badawczego zajmującego się usuwaniem rtęci i jej związków z przemysłowych gazów odlotowych. Moje doświadczenie i umiejętności były wykorzystane m.in. w 2008 r. w ekspertyzie wykonanej na zlecenie IChPW „*Opracowanie metodyki przygotowania prób i wykonania oznaczeń zawartości rtęci w próbkach gazowych, ciekłych i stałych*”. Ekspertyza ta stanowiła początek prac nad wdrożeniem akredytowanych analiz rtęci w próbkach stałych w Laboratorium Paliw i Węgla Aktywnych IChPW w Zabrze.

W 2013 r. brałem udział w uruchomieniu pierwszego w Europie zintegrowanego systemu analitycznego Tekran 3300, umożliwiającego ciągłą analizę specyjalną rtęci w obiektach energetycznych. Odebrałem specjalistyczne szkolenie dotyczące obsługi i napraw analizatora, co zostało potwierdzone indywidualnym certyfikatem firmy Tekran.

W latach 2011-2015 brałem udział w realizacji międzynarodowego projektu CoalGas pt. „*Development of a Coal Gasification Technology for High Efficiency Fuels and Power Production*” współfinansowanego Tauron oraz KIC InnoEnergy SE. W ramach 4 Work Package „*Monitoring i obniżanie emisji rtęci w procesach zgazowania i spalania*” brałem udział w pomiarach emisji rtęci w Elektrowni Łaziska i Elektrowni Jaworzno II. Opracowałem koncepcję bilansowania rtęci w wybranych kotłach tych elektrowni oraz IOS elektrowni Łaziska. Pomiar i bilans posłużyły do opracowania modelu obiegu rtęci w rozpatrywanych obiektach. Ponadto w ramach projektu CoalGas w części realizowanej przez AGH wykonywałem pomiary specyjalne stężenia rtęci systemem analitycznym Tekran 3300. Badania te prowadziłem na pilotowej instalacji demonstracyjnej do monitorowania i redukcji emisji rtęci ze spalania węgla w kotłach pyłowych wybudowanej na terenie elektrowni Łaziska.

W latach 2013-2016 byłem członkiem zespołu opracowującego wniosek o finansowanie projektu badawczego BazaHg pt. „*Opracowanie bazy danych zawartości rtęci w krajowych węglach, wytycznych technologicznych jej dalszej redukcji wraz ze zdefiniowaniem benchmarków dla krajowych wskaźników emisji rtęci*”. Projekt był realizowany w ramach II Programu Badań Stosowanych NCBiR w latach 2013-2016 przez konsorcjum naukowe: GIG Katowice, AGH Kraków, IChPW Zabrze oraz Politechnika Częstochowska. Jako kierownik zadań ze strony IChPW na podstawie pomiarów własnych opracowałem bazę danych właściwości węgla brunatnego ze wszystkich kopalni w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem zawartości rtęci. Określiłem ponadto zmiany stężenia rtęci w odpadach poflotacyjnych w trakcie ich wieloletniego składowania oraz przebadłem kierunek migracji rtęci podczas aglomeracji olejowej osadów poflotacyjnych. Opisane powyżej badania były moim autorskim pomysłem.

W 2015 r. współpracowałem z GIG Katowice nad ograniczeniem emisji rtęci podczas pożarów hałd powęglowych. Wspólne badania zaowocowały opracowaniem mieszanki

pochłaniającej rtęć zawierającej karbonizat powstający po przetwórstwie odpadów gumowych. Rozwiązanie to zostało opatentowane w 2019 r.

W latach 2017-2018 brałem udział w opracowaniu studium wykonalności technologii produkcji węgla aktywnego na terenie Elektrowni Bełchatów, z przeznaczeniem do usuwania rtęci z gazów spalinowych. Pracę realizowano w IChPW na zlecenie Instytutu Energetyki w Warszawie i PGE GiEK w Bełchatowie. Brałem udział w opracowaniu koncepcji otrzymywania węgla aktywnego i badaniach nad jego wytwarzaniem w instalacji pilotowej IChPW w reaktorze fluidalnym ze cyrkulującym złożem. Prowadziłem również badania właściwości adsorpcyjnych otrzymanych węgli aktywnych.

Brałem udział w pomiarach emisji rtęci i jej bilansowaniu w przemysłowych obiektach energetycznych: EC Żerań na zlecenie spółki Elewator (2017) oraz jako kierownik prac w Elektrowni Kozienice na zlecenie niemieckiej spółki IEM GmbH (2018). Pomiary posłużyły do opracowania bilansu rtęci, określenia form chemicznych rtęci oraz oceny skuteczności usuwania rtęci ze spalin.

Przedstawione powyżej badania realizowałem w ramach 1 projektu międzynarodowego, 2 dużych projektów KBN i NCBiR, 5 prac statutowych Politechniki Śląskiej i IChPW oraz kilku prac komercyjnych i ekspertyz. Wyniki opublikowałem w artykułach naukowych oraz prezentowałem na konferencjach krajowych i międzynarodowych.

5.2. Osiągnięcia naukowo-badawcze związane z ograniczeniem emisji ditlenku węgla do atmosfery

Kolejnym obszarem moich zainteresowań naukowych jest sekwestracja ditlenku węgla CCS (Carbon Capture and Storage) oraz jego zagospodarowanie CCU (Carbon Capture and Utilization). Badania te są istotne z uwagi na obowiązujące akty prawne Unii Europejskiej dotyczące ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (np. Dyrektywa 2003/87/EC).

Po raz pierwszy wychwytem CO₂ z fazy gazowej zająłem się w pracy „*Regeneracja zużytych węgli aktywnych i sorbentów węglowych*” realizowanej w 2001 r. z ramach badań statutowych Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej. Przebadłem proces termicznej regeneracji zużytego sorbentu węglowego SDW, stosowanego do adsorpcyjnego usuwania ditlenku węgla z powietrza atmosferycznego. Wyniki badań z powodzeniem zastosowano do regeneracji sorbentu stosowanego w Hucie Baildon w Katowicach do zabezpieczenia zbiorników ze szkłem wodnym. Wyniki były przedmiotem publikacji.

Kolejną moją pracą z zakresu CCU był projekt HTRPL „*Rozwój wysokotemperaturowych reaktorów do zastosowań przemysłowych*”, będący elementem strategicznego projektu badawczego „*Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej*”. Projekt HTRPL był realizowany w latach 2012-2016 w szerokim konsorcjum naukowym obejmującym: AGH Kraków, GIG Katowice, INSC Puławy, IChPW Zabrze, NCBJ Otwock, Prochem SA, Tauron Polska Energia, Uniwersytet Warszawski, KGHM Polska Miedź SA, Politechnikę Śląską oraz Pomorską Specjalną Strefę Ekonomiczną. Byłem kierownikiem prac realizowanych w IChPW w ramach etapu „*Racjonalne użytkowanie CO₂ z wykorzystaniem*

10/14

ciepła nadmiarowego z reaktorów HTR". Prowadzone przeze mnie badania miały na celu wytypowanie najlepszej technologii chemicznej o dużym zapotrzebowaniu na energię wykorzystującej równocześnie ditlenek węgla jako surowiec. Przeanalizowałem trzy technologie: suche zgazowanie węgla, reforming metanu za pomocą dwutlenku węgla i otrzymywanie sody metodą Solvay'a. Na podstawie analizy technologicznej i ekonomicznej wytypowałem suchy reforming metanu jako potencjalnie najlepszą technologię wykorzystującą ciepło HTR. Przy współpracy z dr M. Motak z AGH w Krakowie opracowałem nowy katalizator konwersji metanu z ditlenkiem węgla otrzymany na bazie hydrotalkitu. Na podstawie badań wielkolaboratoryjnych określiłem optymalne parametry procesu katalizacyjnej konwersji i opracowałem wytyczne projektowe dla suchego reformingu metanu.

W projekcie OPTYSODA prowadzonym od 2016 r. przez CIECH Soda Polska SA w ramach programu sektorowego INNOCHEM (POIR) realizuję trzy zadania badawcze (w dwóch z nich jestem kierownikiem). Ich celem jest wdrożenie nowych technologii wychwytu resztkowego ditlenku węgla z gazów odlotowych w procesie Solvaya. W ramach badań nad wychwytem CO₂ metodą amoniakalną zespół pracowników IChPW pod moim kierownictwem, kompleksowo przebadał proces absorpcji CO₂ w odpadowych kondensatach amoniakalnych. Wspólnie z biurem projektowym Sodaconsult z Krakowa zaprojektowałem pilotową instalację wychwytu CO₂ metodą amoniakalną o wydajności 7000 m³/h. Aktualnie (2019) instalacja ta jest budowana w Zakładach Sodowych w Inowrocławiu pod nadzorem IChPW. Zakończenie badań na tej instalacji planowane jest na 2020 r. Kolejne zadanie obejmowało prace nad technologią wychwytu CO₂ metodą aminową. Badania prowadzono na instalacji pilotowej ICPW o wydajności 100 m³/h. Uzyskane wyniki posłużyły do opracowania nowatorskiej koncepcji technologii wychwytu CO₂ o stężeniu 40% z gazów resztkowych w procesie Solvaya. Trzecie zadanie w projekcie OPTYSODA obejmuje badania termicznej regeneracji kondensatów amoniakalnych. Pod moim kierunkiem zaprojektowano i wybudowano wielkolaboratoryjną instalację desorpcyjną o wydajności 50 kg/h. Na podstawie wyników w 2019 r. przy współpracy z biurem projektowym Sodaconsult zostanie zaprojektowana i wybudowana pilotowa instalacja regeneracji w Zakładach Sodowych w Inowrocławiu. W ramach pracy zgłoszono łącznie 6 patentów w polskim i europejskim urzędzie patentowym. Wyniki opublikowałem w dwóch artykułach z listy JCR.

Aktualnie biorę udział w dwóch międzynarodowych projektach współfinansowanych przez Tauron Wytwarzanie i KIC InnoEnergy SE. Są to projekt CO2SNG „Magazynowanie energii poprzez produkcję SNG z CO₂ – układ metanizacji CO₂ wydzielonego ze spalin” oraz projekt POLYGEN „Układ poligeneracyjny zgazowania biomasy i odpadów”. Projekt CO2SNG, jest realizowany od 2014 przez międzynarodowe konsorcjum: IChPW, Tauron Wytwarzanie, CEA (Francja), Atmosat (Francja), Rafako, Exergon, WT&T. Celem projektu jest opracowanie technologii i budowa pilotowej instalacji wytwarzania syntetycznego gazu ziemnego (SNG). Surowcami w omawianej technologii są ditlenek węgla pozyskiwany ze spalin metodą absorpcji aminową wg technologii IChPW oraz wodór wytwarzany elektrolitycznie przy wykorzystaniu nadmiarowej energii elektrycznej pochodzącej z odtwarzalnych źródeł energii.

KTH

W procesie metanizacji surowce te będą przetwarzane na ekologiczne paliwo - syntetyczny gaz ziemny. W ramach projektu wybudowano pilotową instalację na terenie elektrowni Łaziska. Kierowany przeze mnie zespół pracowników Zakładu Oczyszczania Gazów IChPW uruchomił w 2018 r. tę instalację i rozpoczął badania procesowe. Po zakończeniu prac badawczych w 2019 r. planowana jest komercjalizacja opracowanej technologii. Z kolei projekt POLYGEN jest realizowany od 2016 r. przez międzynarodowe konsorcjum: IChPW, Tauron Wytwarzanie, CEA (Francja), Atmosstat (Francja), Rafako, Eqttec Iberia (Hiszpania) oraz Exergon. Celem projektu jest budowa pilotowej instalacji do otrzymywania syntetycznego gazu ziemnego (SNG) z paliw odpadowych oraz dwutlenku węgla odzyskanego ze spalin. Paliwa odpadowe poddawane będą zgazowaniu w technologii Eqttec Iberia (Hiszpania). Otrzymany gaz syntezowy po procesie upgradingu (IChPW) będzie przetwarzany w procesie metanizacji (Atmosstat Francja) na syntetyczny gaz ziemny (SNG). W procesie metanizacji wykorzystywany będzie ditlenek węgla pozyskiwany ze spalin metodą aminową (IChPW). Aktualnie zakończony jest etap projektowania i w 2019 r. planowana jest budowa instalacji pilotowej na terenie Elektrowni Łaziska. Pracownicy z kierowanego przeze mnie Zespołu Oczyszczania Gazów IChPW w Zabrze po uruchomieniu będą prowadzili badania na instalacji pilotowej. Po zakończeniu projektu planowana jest jego komercjalizacja.

Od 2013 r. jestem ekspertem technicznym GHG spółki TÜV SÜD w Chorzowie w zakresie technologia chemiczna nieorganiczna, spalanie paliw, produkcja koksu i hutnictwo żelaza i metali kolorowych, produkcja materiałów budowlanych i in. W ramach współpracy byłem m.in. doradcą technicznym GHG podczas audytu procedury rocznego bilansowania emisji CO₂ zakładów chemicznych, materiałów budowlanych i hut szkła.

W 2017 r. byłem głównym wykonawcą ekspertyzy „Ocena technologii CPPE redukcji zawartości CO₂ w spalinach metodą adsorpcyjną”. Na podstawie wizji lokalnej pilotowej instalacji wychwytu CO₂ w zakładzie produkcji klinkieru Cimalux w Luksemburgu oraz analizie dokumentacji know-how luksemburskiej spółki CPPE dokonałem oceny technologii usuwania CO₂ pod kątem jej wdrożenia w Polsce.

Przedstawione powyżej badania realizowałem w ramach 2 projektów międzynarodowych, 2 projektów NCBiR (w tym 1 strategicznego), prac finansowanych ze środków statutowych Politechniki Śląskiej i IChPW w Zabrze oraz w ramach prac komercyjnych i ekspertyz. Wyniki były przedstawiłem w kilku publikacjach oraz zaprezentowałem na szeregu konferencji naukowych. Są one również przedmiotem 7 zgłoszeń patentowych.

5.3. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

W ramach pozostałych osiągnięć brałem udział w szeregu prac naukowo-badawczych realizowanych na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej do 2012 r., a w okresie późniejszym w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze. Były zarówno prace teoretyczne związane z obliczeniami technologicznymi i procesowymi jak i badaniami doświadczalnymi różnych procesów technologii chemicznej i ochrony środowiska. Do najważniejszych prac zaliczyć należy:

KJA

- analizę termodynamiczną wybranych procesów technologii chemicznej;
- analizę stechiometryczną i termodynamiczną oraz badania nad otrzymywaniem azotku tytanu;
- badania nad usprawnianiem procesów jednostkowych w technologii chemicznej nieorganicznej;
- badania sorbentów węglowych do pochłaniania amoniaku z fazy gazowej;
- rozwój i doskonalenie technik analitycznych w laboratoriach IChPW;
- współudział w opracowaniu modelu optymalizacyjnego gospodarki wodno-ściekowej koksowni.

Wykonałem również szereg prac i ekspertyz na zlecenie przemysłu i jednostek naukowych takich jak:

- biuro projektów Biprokwas – dobór sorbentu węglowego;
- Zakład Karbochemii PAN w Gliwicach – opracowanie metodyki testowania węgla aktywnych;
- rafineria Jasło – pomiar emisji zanieczyszczeń organicznych ze zbiorników węglowodorów;
- zakłady Gryfskand w Hajnówce – testowanie węgla i koksów aktywnych;
- elektrownia Opole – zabezpieczenie antykorozyjne dysz absorbera IOS;
- Hyundai Steel Corporation – dobór koksów aktywnych;
- IChPW w Zabrze – opracowanie metodyki analizy rtęci;
- TÜV SÜD Polska – ekspert techniczny GHG;
- CIECH Soda Polska SA – analizy technologiczne i ekonomiczne;
- Tauron Wytwarzanie – wdrożenie technologii CO2SNG.

6. Podsumowanie działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej

6.1. Podsumowanie działalności naukowej

Mój dorobek publikacyjny jest następujący:

- Opublikowałem 17 artykułów naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie JCR (samodzielnie opracowałem 6 artykułów). Sumaryczny Impact Factor tych publikacji wynosi IF=11,0. Przed doktoratem byłem współautorem 3 publikacji z bazy JCR (IF=0,7).
- Jestem autorem dwóch samodzielnych publikacji w materiałach konferencyjnych raportowanych przez WoS.
- Opublikowałem 29 prac w czasopismach nie będących w bazie JCR, z których 16 było wydanych w języku angielskim. Samodzielnie opracowałem 5 artykułów, a 24 artykuły w zespołach dwuosobowych. Tylko jedna z tych publikacji była wydana przed doktoratem.
- Wydałem 24 rozdziały w monografiach naukowych, w tym 2 w języku angielskim (8 rozdziałów opracowałem samodzielnie). Przygotowałem ponadto 17 publikacji

16/11

w języku angielskim wydanych w materiałach z międzynarodowych konferencji naukowych (9 z nich wydałem samodzielnie). Wszystkie te prace wydałem po doktoracie.

- Brałem czynny udział 74 krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych, na których wygłosiłem 66 referatów (14 na konferencjach międzynarodowych), 9 komunikatów oraz jeden referat sekcyjny.
- Jestem współautorem 3 przyznanych patentów oraz 7 zgłoszeń patentowych (w tym 3 w UE).

Mój dorobek w zakresie realizacji prac naukowych jest następujący:

- byłem bądź jestem wykonawcą w 3 międzynarodowych projektach badawczych współfinansowanych przez KIC InnoEnergy;
- byłem głównym wykonawcą w 4 trzyletnich grantach badawczych finansowanych przez KBN;
- kierowałem trzyletnim grantem badawczym finansowanym przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji;
- byłem kierownikiem etapu IChPW w dwóch projektach badawczych realizowanych w konsorcjach naukowych (trzyletni projekt strategiczny HTRPL oraz trzyletni projekt BazaHg w ramach PBS). Oba projekty były finansowane przez NCBiR;
- na zlecenie CIECH Soda Polska realizuję 3 zadania badawcze w projekcie INNOCHEM współfinansowanym przez NCBiR. W dwóch zadaniach jestem kierownikiem.
- byłem wykonawcą jednego z zadań badawczych w projekcie Inteligentna Koksownia (projekt POIG finansowany przez NCBiR);
- zrealizowałem 9 prac naukowo-badawczych na zlecenie różnych podmiotów (byłem kierownikiem dwóch prac);
- wykonałem 9 ekspertyz na zlecenie przemysłu (6 ekspertyz zrealizowałem samodzielnie);
- zrealizowałem 11 prac finansowanych ze środków statutowych Politechniki Śląskiej i IChPW, w 7 z nich byłem kierownikiem, w 2 kierownikiem etapu.

W 1995 r. otrzymałem wyróżnienie Rektora Politechniki Śląskiej za obronę pracy doktorskiej.

MH

Ilościowe zestawienie dorobku naukowego:

| Lp. | Wyszczególnienie | przed doktoratem | po doktoracie | łącznie |
|-----|--|---------------------|---------------------|----------------------|
| 1. | Publikacje w czasopismach zamieszczonych w JCR | 3 | 14 | 17 |
| 2 | Publikacje z listy MNiSzW nie zamieszczone w JCR | 1 | 28 | 29 |
| 3 | Publikacje w materiałach konferencyjnych z JCR | 0 | 2 | 2 |
| 4 | Patenty przyznane | 0 | 3 | 3 |
| 5 | Zgłoszenia patentowe | 0 | 7 | 7 |
| 6 | Rozdziały w recenzowanej w monografii, łącznie: - w tym w języku angielskim | 0 0 | 24 2 | 24 2 |
| 7 | Wystąpienia na konferencjach naukowych, łącznie: - referaty na konferencjach międzynarodowych - referaty na konferencjach krajowych - komunikaty na konferencjach krajowych | 17 0 12 0 | 91 14 40 9 | 108 14 52 9 |
| 8 | Publikacje w materiałach konferencyjnych w j.angielskim | 0 | 17 | 17 |
| 9 | Udział w projektach KBN, MNiI, NCBiR: - w tym jako kierownik - w tym jako główny wykonawca | 2 0 2 | 7 3 3 | 9 3 5 |
| 10 | Udział w realizacji projektów międzynarodowych | 0 | 3 | 3 |
| 11 | Ważniejsze prace komercyjne dla przemysłu: - w tym współfinansowane przez NCBiR | 4 0 | 9 3 | 13 3 |
| 12 | Ekspertyzy | 1 | 8 | 9 |
| 13 | Prace zrealizowane w ramach środków statutowych | 3 | 8 | 11 |
| 14 | Dorobek punktowy wg kryteriów MNiSzW (2018) | 53 | 823 | 876 |

6.2. Podsumowanie działalności dydaktycznej

W latach 1989-2016 byłem nauczycielem akademickim na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Prowadziłem zajęcia na studiach dziennych na specjalności technologia chemiczna, inżynieria chemiczna oraz w zamiejscowym ośrodku Politechniki Śląskiej w Dąbrowie Górniczej. Prowadziłem również zajęcia na studiach eksternistycznych na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Tematyka prowadzonych przeze mnie zajęć obejmowała zagadnienia z zakresu termodynamiki chemicznej i procesowej, inżynierii reaktorów chemicznych, technologii chemicznej oraz ochrony środowiska. Samodzielnie opracowałem i prowadziłem wykłady z 8 przedmiotów. Wszystkie przedmioty kończyły się egzaminem. W ramach działalności dydaktycznej opracowałem 10 nowych stanowisk badawczych łącznie z instrukcją stanowiskową do prowadzenia zajęć laboratoryjnych. Były one wykorzystywane przeze mnie podczas prowadzenia zajęć laboratoryjnych z 11 przedmiotów. Prowadziłem również ćwiczenia tablicowe z 8 przedmiotów oraz projekt technologiczny i laboratorium prac przejściowych.

KNA

Byłem opiekunem 9 prac dyplomowych magisterskich oraz promotorem 37 prac dyplomowych magisterskich i 7 prac inżynierskich. Wszystkie prace miały charakter doświadczalny. Byłem ponadto recenzentem 98 prac dyplomowych magisterskich i inżynierskich.

6.3. Podsumowanie działalności organizacyjnej

Od 1989 r. jestem członkiem Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego. W latach 1997-2002 oraz 2010-2012 byłem przewodniczącym Uczelnianego Koła SITPChem na Politechnice Śląskiej. W latach 2002-2012 organizowałem doroczny konkurs na najlepszą pracę dyplomową z dziedziny chemii na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej. Jestem odznaczony honorową odznaką SITPChem (2002).

W 1995 r. byłem współorganizatorem sesji promującej Wydział Chemiczny z okazji obchodów 50-lecia Politechniki Śląskiej. W latach 1995-2005 prowadziłem działania promocyjne Wydziału Chemicznego wśród uczniów szkół średnich województwa śląskiego. W latach 1996-2012 organizowałem seminaria naukowe w Instytucie, a następnie w Katedrze Chemii, Technologii Nieorganicznej. Przez szereg lat byłem opiekunem grup studenckich Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej

Od 2015 r. jestem kierownikiem Zakładu Oczyszczania Gazów w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze.

Krzysztof Jędrzej

KMA