

**Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Energetyki i Paliw**

dr inż. Mirosław Kwiatkowski

AUTOREFERAT

Załącznik nr 2 do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

Kraków 2017

1. Imię i nazwisko: **Mirosław Kwiatkowski**

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe (8):

- 2013** Dyplom ukończenia studiów podyplomowych pt. **Profesjonalny kierownik projektów badawczo-rozwojowych** - studia podyplomowe dla pracowników nauki realizowane w ramach Działania 4.2 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki - „Rozwój kwalifikacji kadr systemu B+R i wzrost świadomości roli nauki w rozwoju gospodarczym”. Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie.
- 2013** Dyplom ukończenia studiów podyplomowych pt. **Menedżer badań naukowych i prac rozwojowych** w ramach projektu „Kompetencje dla współpracy nauki i biznesu. Menedżerskie studia podyplomowe dla sektora B+R”. Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie.
- 2011** Dyplom udziału w warsztatach pt. **Komercjalizacja nauk innowacyjnych** zorganizowanych przez Fundację na Rzecz budowy społeczeństwa opartego na wiedzy. Fundacja „Nowe Media” w Olsztynie.
- 2004** Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie technologia chemiczna, Specjalność: fizykochemia zjawisk powierzchniowych. Tytuł rozprawy: **Numeryczne metody opisu struktur mikroporowatych sorbentów węglowych**. Promotor: Prof. dr hab. inż. Janina Milewska-Duda, Wydział Paliw i Energii, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.
- 2002** Dyplom ukończenia kursu międzynarodowego pt. **Zrównoważony Rozwój Energetyczny** w ramach programu Unii Europejskiej TEMPUS IB_JEP-14326, Polska, Dania, Hiszpania i Portugalia, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.
- 2000** Dyplom ukończenia studiów podyplomowych pt. **Rynki Energii Elektrycznej**. Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.
- 1999** Dyplom przyznania **medalu Stanisława Staszica** dla **wzorowego absolwenta uczelni** w roku akademickim 1997/98.
- 1998** Dyplom magistra inżyniera, kierunek: technologia chemiczna, w zakresie: Energochemiczne przetwórstwo węgla. Tytuł pracy dyplomowej: **Zastosowanie komputerowych technik obliczeniowych do opisu struktury porowatej adsorbentów na podstawie danych pomiarowych adsorpcji par i gazów**. Wydział Paliw i Energii, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie. **Studia ukończone z wyróżnieniem.**

2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych (2):

- 1998 - 2005** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Paliw i Energii, **asystent**,
- 2005 -** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw, **adiunkt**.

3. 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.): **jednotematyczny cykl publikacji.**

3.1. Tytuł osiągnięcia naukowego: **Analiza wpływu metody wytwarzania na kształtowanie się struktury porowatej adsorbentów węglowych.**

3.2. Publikacje prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego (20):
(**K** – oznacza autora korespondencyjnego)

[H1] M. Kwiatkowski^K, *Analysis of relative pressure range influence on the identification quality during computer identification of adsorption system parameters by employing the new multilayer adsorption models.* **APPLIED SURFACE SCIENCE** 257, 8912-8922 (2011). **IF = 2,103**, **MNiSW = 35**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

[H2] M. Kwiatkowski^K, *Zastosowanie metody wielowariantowego dopasowywania modeli LBET do analizy wpływu warunków procesu aktywacji na uzyskane parametry struktury mikroporowatej węgla aktywnych.* **PRZEMYSŁ CHEMICZNY** 87/3, 284-288 (2008). **IF = 0,254**, **MNiSW = 15**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

[H3] M. Kwiatkowski^K, *Numerical analysis of the effect of the kind of activating agent and the impregnation ratio on the parameters of the microporous structure of the active carbons.* **JOURNAL OF PHYSICS. CONFERENCE SERIES**, 633/012047, 1-6 (2015). **MNiSW = 15**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

[H4] M. Kwiatkowski^K, *Use of fast multivariant identification of the parameters of adsorption systems to study the impact of activating agent on microporous structure formation during activation.* **JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE** 340, 1-7 (2009). **IF = 3,019**, **MNiSW = 30**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

[H5] M. Kwiatkowski^K, E.Broniek, *Komputerowa analiza struktury porowatej adsorbentów otrzymanych z odpadowych materiałów pochodzenia roślinnego w procesie aktywacji chemicznej kwasem fosforowym(V).* **PRZEMYSŁ CHEMICZNY** 91/12, 2355-2360 (2012). **IF = 0,344**, **MNiSW = 15**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji całej pracy, przygotowaniu wstępu teoretycznego, udziale w otrzymywaniu węgla aktywnych, wykonaniu obliczeń i analiz komputerowych oraz rysunków; interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu i korespondowaniu z edytorem oraz przygotowaniu odpowiedzi dla recenzentów. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- [H6] M. Kwiatkowski^K, D. Kalderis, E. Diamadopoulos, *Numerical analysis of the influence of the impregnation ratio on the microporous structure formation of activated carbons, prepared by chemical activation of waste biomass with phosphoric acid.* **JOURNAL OF PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLIDS** 105, 81-85 (2017). **IF = 2,048**, **MNiSW = 25**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, przygotowaniu wstępu teoretycznego wraz z referencjami, wykonaniu obliczeń, wykonaniu wszystkich rysunków i tabeli; interpretacji oraz dyskusji wyników badań, napisaniu manuskryptu, korespondowaniu z edytorem i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 85%.

- [H7] M. Kwiatkowski^K, E. Broniek, *Application of the LBET class adsorption models to the analysis of microporous structure of the active carbons produced from biomass by chemical activation with the use of potassium carbonate.* **COLLOIDS AND SURFACES A: PHYSICOCHEMICAL AND ENGINEERING ASPECTS** 427, 47-52 (2013). **IF = 2,108**, **MNiSW = 30**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, przygotowaniu wstępu teoretycznego, udziale w otrzymywaniu węgla aktywnych z odpadowych materiałów biomasowych, wykonaniu obliczeń z wykorzystaniem metody LBET oraz wszystkich rysunków; interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu manuskryptu, korespondowaniu z edytorem i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- [H8] M. Kwiatkowski^K, *Application of fast multivariant identification technique of adsorption systems to analyze influence of production process conditions on obtained microporous structure parameters of carbonaceous adsorbents.* **MICROPOROUS AND MESOPOROUS MATERIALS** 115, 314-331 (2008). **IF = 2,555**, **MNiSW = 30**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

- [H9] M. Kwiatkowski, V. Fierro, A. Celzard^K, *Numerical studies of the effects of process conditions on the development of the porous structure of adsorbents prepared by chemical activation of lignin with alkali hydroxides.* **JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE** 486, 277-286 (2017). **IF = 3,782**, **MNiSW = 30**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, przygotowaniu wstępu teoretycznego wraz z referencjami i opisu wykorzystanych w badaniach narzędzi obliczeniowych, wykonaniu obliczeń z wykorzystaniem klasterowych modeli adsorpcji, wykonaniu wszystkich rysunków i tabel, interpretacji wszystkich wyników, współredagowaniu manuskryptu i przygotowaniu odpowiedzi na zapytania recenzentów. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

- [H10] M. Kwiatkowski^K, E. Broniek, *Application of the LBET class adsorption models to analyze influence of production process conditions on the obtained microporous structure of activated carbons.* **COLLOIDS AND SURFACES A: PHYSICOCHEMICAL AND ENGINEERING ASPECTS** 411, 105-110 (2012). **IF = 2,108**, **MNiSW = 30**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, przygotowaniu wstępu teoretycznego, udziale w otrzymywaniu węgla aktywnych, wykonaniu obliczeń oraz rysunków; interpretacji oraz dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu, korespondowaniu z edytorem i przygotowaniu odpowiedzi dla recenzentów. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- [H11] M. Kwiatkowski^K, J. Sreńscek-Nazzal, B. Michalkiewicz, *An analysis of the effect of the additional activation process on the formation of the porous structure and pore size distribution of the commercial activated carbon WG-12.* **ADSORPTION**, 23, 551-561 (2017) DOI: 10.1007/s10450-017-9867-4. **IF = 1,870**, **MNiSW = 25**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współstworzeniu koncepcji pracy, przygotowaniu wstępu teoretycznego i opisu zastosowanych metod obliczeniowych, wykonaniu obliczeń metodą LBET, wykonaniu rysunków i tabeli; interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu manuskryptu, korespondowaniu z edytorem oraz przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

- [H12] M. Kwiatkowski^K, *Computer analysis of the microporous structure of activated carbon fibres using the fast multivariant identification procedure of adsorption system parameters.* **JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE** 330, 266-275 (2009). **IF = 3,019**, **MNiSW = 30**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

- [H13] M. Kwiatkowski^K, M. Wiśniewski, A. Pacholczyk, *The application of the fast multivariant fitting procedure of the LBET models to the analysis of carbon foams prepared by various methods from furfuryl alcohol.* **COLLOIDS AND SURFACES A: PHYSICO-CHEMICAL AND ENGINEERING ASPECTS** 385, 72-84 (2011). **IF = 2,236**, **MNiSW = 30**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, przygotowaniu wstępu teoretycznego, wykonaniu obliczeń i rysunków, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu manuskryptu, korespondowaniu z edytorem oraz przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

- [H14] M. Kwiatkowski^K, M. Wiśniewski, G. Rychlicki, *The numerical analysis of the spherical carbon adsorbents obtained from ion-exchange resins in one-step steam pyrolysis.* **APPLIED SURFACE SCIENCE** 259, 13-20 (2012). **IF = 2,112**, **MNiSW = 35**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, przygotowaniu wstępu teoretycznego, wykonaniu obliczeń z wykorzystaniem szybkiej procedury identyfikacji układów adsorpcyjnych na podstawie izoterm empirycznych adsorpcji azotu; przygotowaniu wszystkich rysunków; interpretacji i dyskusji otrzymanych wyników badań, napisaniu manuskryptu, korespondowaniu z edytorem i przygotowaniu odpowiedzi dla recenzentów. Mój udział procentowy szacuję na 75%.

- [H15] M. Kwiatkowski, A. Policicchio, M. Seredych, T. J. Bandosz^K, *Evaluation of CO₂ interactions with S-doped nanoporous carbon and its composites with a reduced GO: Effect of surface features on an apparent physical adsorption mechanism.* **CARBON** 98, 250-258 (2016). **IF = 6,196**, **MNiSW = 40**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współopracowaniu koncepcji pracy i przygotowaniu opisu teoretycznego nowych modeli adsorpcji i metody LBET, wykonaniu obliczeń z wykorzystaniem opracowanych narzędzi numerycznych, wykonaniu rysunku zbiorczego rozkładów energii adsorpcji na powierzchni oraz opracowaniu interpretacji otrzymanych wyników obliczeń i udziale w przygotowaniu odpowiedzi dla recenzentów. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

- [H16] M. Kwiatkowski^K, *Magazynowanie metanu w porowatych materiałach węglowych. PRZEMYSŁ CHEMICZNY* 92/5, 1000-1004 (2013). **IF = 0,344**, **MNiSW = 15**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

- [H17] J. T. Duda, M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda^K, *Application of clustering based gas adsorption models to analysis of microporous structure of carbonaceous materials. APPLIED SURFACE SCIENCE* 256, 5243-5248 (2010). **IF = 1,793**, **MNiSW = 35**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu koncepcji pracy i podstaw modelu adsorpcji, zebraniu danych, wykonaniu obliczeń, rysunków i tabel oraz współredagowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

- [H18] J. T. Duda, J. Milewska-Duda, M. Kwiatkowski^K, M. Ziółkowska, *A geometrical model of random porous structures to adsorption calculations. ADSORPTION* 19, 545-555 (2013). **IF = 1,553**, **MNiSW = 25**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu podstaw teoretycznych nowego podejścia do identyfikacji losowych struktur mikroporowatych, zebraniu danych literaturowych, wykonaniu obliczeń i rysunków, współredagowaniu manuskryptu i korespondowaniu z edytorem. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

- [H19] M. Kwiatkowski^K, J. T. Duda, J. Milewska-Duda, *Application of the LBET class models with the original fluid state model to an analysis of single, double and triple carbon dioxide, methane and nitrogen adsorption isotherms. COLLOIDS AND SURFACES A: PHYSICOCHEM. ENG. ASPECTS* 457, 449-454 (2014). **IF = 2,108**, **MNiSW = 30**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy i udziale w opracowaniu podstaw teoretycznych klasterowego modelu adsorpcji, zebraniu odpowiednich literaturowych danych empirycznych, wykonaniu obliczeń, rysunków i tabel, napisaniu całego manuskryptu oraz korespondowaniu z edytorem i przygotowaniu odpowiedzi dla recenzentów. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

- [H20] M. Kwiatkowski^K, J. T. Duda, *Szybka wielowariantowa analiza izoterm adsorpcji ditlenku węgla i metanu. PRZEMYSŁ CHEMICZNY* 93/6, 878-881 (2014). **IF = 0,399**, **MNiSW = 15**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy i udziale w opracowaniu podstaw teoretycznych klasterowego modelu adsorpcji, przygotowaniu wstępu teoretycznego, zebraniu danych, wykonaniu wszystkich obliczeń, rysunków i tabeli, opracowaniu interpretacji wyników badań, redagowaniu manuskryptu oraz korespondowaniu z edytorem. Mój udział procentowy szacuję na 90%.

Σ IF [H1-H20] = 41,214, Σ MNiSW [H1-H20] = 570, Mój średni udział = 75,8%.

3.3. Zestawienie prac naukowych.

Lp	Prace naukowe lub twórcze	Przed doktoratem	Po doktoracie	Prace naukowe i twórcze określone w art. 16, ust. 2 Ustawy
1	Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopiśmie znajdujących się w bazie <i>Journal Citation Reports</i> .	1	34	20
2	Udział w publikacjach znajdujących się w bazie <i>Journal Citation Reports</i> jako autor korespondencyjny.	-	31	17
3	Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopiśmie międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie <i>Journal Citation Reports</i> .	18	12	-
4	Udział w publikacji naukowych w czasopiśmie międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie <i>Journal Citation Reports</i> jako autor korespondencyjny.	14	11	-
5	Zgłoszone patenty krajowe.	0	6	6
6	Udzielone licencje i wdrożenia.	0	2	2
8	Autorstwo lub współautorstwo: opracowań zbiorowych, dokumentacji prac badawczych, ekspertyz.	4	-	-
9	Recenzja rozprawy doktorskiej dla zagranicznej Uczelni.	X	1	X
10	Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach (w tym badania własne i statutowe).	15	19	10
11	Wygłoszenie i prezentacja wyników prac badawczych na konferencjach tematycznych.	27	47	X
12	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową.	X	8	5
13	Sumaryczny <i>Impact Factor</i> prac składających się na osiągnięcie, wynikające z art. 16, ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) zgodnie z rokiem opublikowania.	X	X	41,214
14	Sumaryczna ilość punktów MNiSW publikacji składających się na osiągnięcie wynikające z art. 16, ust. 2.	X	X	570
15	Sumaryczny <i>Impact Factor</i> wszystkich prac.	3,045	58,118	X
16	Sumaryczna ilość punktów MNiSW wszystkich prac.	35	901	X
17	Indeks Hirscha opublikowanych publikacji według bazy <i>Web of Science</i> .	X	8	X
18	Liczba cytowań publikacji według bazy <i>Web of Science</i> (w tym bez autocytowań).	5	202	X

3.4. Zestawienie prac naukowych – wartości *Impact Factor* i punktów MNiSW

Lp.	Czasopismo	Ogółem			Prace naukowe i twórcze określone w art. 16, ust. 2 Ustawy		
		Σ IF	Σ MNiSW	Liczba prac	Liczba prac	Σ IF	Σ MNiSW
1	Adsorption	4,66	75	3	2	3,423	50
2	Applied Surface Science	8,534	175	5	4	7,271	140
3	Archiwum Gospodarki Odpadami	-	16	4	-	-	-
4	Carbon	6,196	40	1	1	6,196	40
5	Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects	10,161	150	5	4	8,560	120
6	Journal of Colloid and Interface Science	12,129	120	4	3	9,820	90
7	Journal of Mathematical Chemistry	1,057	25	1	-	-	-
8	Journal of Molecular Modeling	3,688	40	2	-	-	-
9	Journal of Physics and Chemistry of Solids	2,048	25	1	1	2,048	25
10	Journal of Physics Conference Series	-	15	2	1	-	15
11	Karbo	-	5	1	-	-	-
12	Microporous and Mesoporous Materials	2,555	30	1	1	2,555	30
13	Langmuir	7,054	70	2	-	-	-
14	Przemysł Chemiczny	2,023	105	7	4	1,341	60
15	Polish Journal of Environmental Studies	1,058	45	3	-	-	-
	Razem:	Σ IF 61,163	Σ MNiSW 936	Σ liczba prac 42	Σ 21	Σ IF 41,214	Σ MNiSW 570

3.5. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Jednymi z najczęściej wykorzystywanych materiałów w procesach przemysłowych i życiu codziennym są mikroporowate adsorbenty węglowe, co związane jest z ich unikalnymi właściwościami, w tym między innymi dużą powierzchnią właściwą i znaczną objętością porów oraz dużymi możliwościami kształtowania ich struktury porowatej poprzez dobór odpowiedniego surowca, metody otrzymywania, kontrolę warunków produkcji oraz duże możliwości modyfikacji ich właściwości [1-4]. Materiały te otrzymuje się najczęściej w procesach aktywacji fizycznej poprzedzonej karbonizacją lub w jednoetapowym procesie aktywacji chemicznej, niejednokrotnie także poprzedzonym procesem karbonizacji [5,6].

Proces aktywacji fizycznej polega na częściowym zgazowaniu pozostałości po procesie karbonizacji czynnikami utleniającymi tj. parą wodną lub dwutlenkiem węgla. Znaczny wpływ na stopień rozwinięcia struktury porowatej podczas aktywacji fizycznej mają temperatura i czas procesu, zależne od reaktywności karbonizatu i aktywności czynnika zgazowującego [6,7]. Zastosowanie dwutlenku węgla jako aktywatora wpływa na znaczące rozwinięcie struktury mikro- i ultramikroporowatej, a z kolei pary wodnej na rozwinięcie struktury o szerszym rozkładzie rozmiarów porów. Do głównych zalet aktywacji fizycznej zalicza się niski koszt produkcji oraz możliwość zachowania kształtu i tekstury prekursora.

Z kolei technologia produkcji adsorbentów węglowych metodą aktywacji chemicznej obejmuje najczęściej jednoetapowy proces reakcji surowca z czynnikami aktywującymi, którymi mogą być: H_3PO_4 , HNO_3 , H_2SO_3 , $ZnCl_2$, $MgCl_2$, K_2CO_3 , KOH i $NaOH$ [8-14]. Aktywacja chemiczna w porównaniu do aktywacji fizycznej pozwala na ominięcie procesu karbonizacji, obniżenie temperatury procesu oraz zwiększenie jego wydajności. W przypadku aktywacji chemicznej materiałów biomasowych zalecany jest jednak wcześniejszy proces karbonizacji. W wyniku procesu aktywacji chemicznej otrzymuje się adsorbenty węglowe o lepiej rozwiniętej strukturze porowatej z węższym rozkładem szerokości porów i większej powierzchni właściwej w porównaniu do adsorbentów otrzymanych w procesie aktywacji fizycznej [8-14].

Struktura porowata adsorbentów węglowych i ich właściwości użytkowe uzależnione są także od struktury surowca pierwotnego, dlatego równie ważnym zagadnieniem, obok wyboru właściwej metody produkcji i określenia optymalnych warunków prowadzenia procesu, jest także dobór odpowiedniego materiału. W związku z tym nieustannie poszukuje się nowych surowców do wytwarzania adsorbentów węglowych, a szczególną uwagę poświęca się wykorzystaniu odpadów biomasowych z przemysłu spożywczego, drzewnego i rolnictwa [12-14]. Głównymi argumentami za wykorzystaniem materiałów biomasowych są

obok ich właściwości fizykochemicznych i mechanicznych, stosunkowo niskie koszty pozyskania, dostępność oraz ich odnawialność.

Nieustanny rozwój techniki i stale powiększające się obszary zastosowań adsorbentów węglowych takich jak węgle aktywne, węglowe sita molekularne, czy aktywowane włókniny węglowe czy też monolity wspomnianych materiałów stwarzają konieczność nieustannego doskonalenia nie tylko technik adsorpcyjnych ale i materiałów w nich wykorzystywanych, tak aby mogły konkurować z innymi rozwiązaniami, a co za tym idzie konieczne jest prowadzenie badań nad udoskonalaniem metod ich wytwarzania i zwiększenia ich efektywności, co wymaga między innymi precyzyjnych i rzetelnych analiz kontrolnych otrzymywanych materiałów i oceny ich właściwości adsorpcyjnych oraz przede wszystkim badań wpływu metody i warunków wytwarzania na kształtowanie się struktury porowatej, czemu w głównej mierze poświęcona była moja działalność naukowa po uzyskaniu stopnia doktora.

Głównym celem moich prac badawczych stanowiących **osiągnięcie wynikające 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) była: **Analiza wpływu metody wytwarzania na kształtowanie się struktury porowatej adsorbentów węglowych.**

W ramach prowadzonych badań analizowałem także możliwości wykorzystania różnych surowców zarówno syntetycznych jak i naturalnych, w tym materiałów odpadowych pochodzenia biomasowego, do produkcji mikroporowatych adsorbentów węglowych. Ponadto w ramach zgłoszeń patentowych opracowałem dwie unikalne technologie produkcji karbonizatów i węgla aktywnych, a także odpowiednie urządzenia do tego celu, ze szczególnym naciskiem na wykorzystanie materiałów odpadowych pochodzenia biomasowego do produkcji wysokiej jakości adsorbentów węglowych.

Należy podkreślić, że badania częściowo prowadziłem na porowatych materiałach węglowych w których otrzymywaniu uczestniczyłem osobiście, analogicznie jak i przy wyznaczaniu izoterm adsorpcji oraz badaniach z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej. Nie były to jednak w większości dla mnie zagadnienia nowe, gdyż kończyłem studia na kierunku technologia chemiczna o specjalności: *Sorbenty w procesach przemysłowych i ochronie środowiska*, gdzie miałem okazję własnoręcznie wykonywać podstawowe prace eksperymentalne i pomiarowe związane z otrzymywaniem adsorbentów i analizą ich właściwości, a swoje umiejętności praktyczne rozwijałem także na stażach naukowych, które odbyłem w różnych renomowanych ośrodkach naukowych.

W analizie struktury porowatej adsorbentów węglowych stosowane są powszechnie popularne metody wykorzystujące równania Brunauera-Emmetta-Tellera (BET) i Dubinina-Raduszkiewicza (DR). Równania te opierają się jednak na zbyt wielu założeniach upraszczających, w tym między innymi założeniu o jednorodności powierzchni badanego materiału, co znacząco może zmniejszyć wiarygodność uzyskiwanych wyników analiz, szczególnie w przypadku materiałów o dużym stopniu niejednorodności powierzchni. Poza tym jak wiadomo metody te dostarczają niewiele informacji o strukturze porów i samym procesie adsorpcji w nich zachodzącym, a uzyskane informacje za ich pomocą, są w wielu przypadkach niepełne i użyteczne jedynie przy analizach porównawczych. Informacje te jednak są niewystarczające przy precyzyjnym doborze metody oraz warunków procesu wytwarzania adsorbentów węglowych, pomimo dużego przywiązania zarówno naukowców jak i technologów do wspomnianych metod z uwagi na prostą postać matematyczną ich równań i implementację w oprogramowaniu aparatury pomiarowej.

W związku z tym w ramach prowadzonych prac wykorzystalem obok wspomnianych metod BET i DR oraz metod wywodzących się z teorii funkcjonału gęstości tj. NLDFT i QSDFT, także opracowaną przeze mnie metodę LBET z różnymi wersjami modeli adsorpcji i wyprowadzonych na ich podstawie równań klasy LBET wraz z szybką wielowariantową procedurą identyfikacji układów adsorpcyjnych. Wspomniana metoda we wcześniejszych pracach poddana została, co należy podkreślić, kompleksowym analizom numerycznym, które potwierdziły jej wiarygodność i rzetelność uzyskiwanych wyników.

Zarówno przedmiot badań jak i ich wyniki przedstawione w jednotematycznym cyklu publikacji pt. *Analiza wpływu metody wytwarzania na kształtowanie się struktury porowatej adsorbentów węglowych*, **nie były przedmiotem mojej rozprawy doktorskiej.**

W szczególności wykonałem samodzielnie lub we współpracy następujące prace stanowiące unikalne osiągnięcie wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r.:

- badania poświęcone ocenie wpływu zakresu ciśnienia względnego wyznaczanych izoterm adsorpcji na wiarygodność i rzetelność informacji o strukturalnych i powierzchniowych właściwościach mikroporowatych materiałów węglowych uzyskiwanych za pomocą nowych równań adsorpcji wraz z szybką wielowariantową procedurą identyfikacji **[H1]**,
- badania wpływu stopnia impregnacji i czasu aktywacji wodorotlenkiem potasu na kształtowanie się struktury mikroporowatej, heterogeniczność powierzchni i rozkład energii adsorpcji na pierwszej warstwie dla węgla aktywnych otrzymywanych z antracytu **[H2]**,

- badania wpływu czasu karbonizacji i strumienia gazu inertnego, na kształtowanie się struktury porowatej węgla aktywnych wytwarzanych z hiszpańskiego antracytu w procesie aktywacji wodorotlenkiem potasu i sodu [H3],
- analizę wpływu stosunku masy aktywatora do masy materiału surowego na kształtowanie się struktury mikroporowatej i właściwości powierzchniowych adsorbentów produkowanych ze skorup orzecha włoskiego w procesie aktywacji wodorotlenkiem potasu [H4],
- badania wpływu stopnia impregnacji kwasem fosforowym(V) na rozwój struktury mikroporowatej, stopień niejednorodności powierzchni i rozkład energii na pierwszej warstwie adsorpcyjnej węgla aktywnych otrzymywanych z łupin orzecha włoskiego i pistacjowego [H5],
- badania wpływu stopnia impregnacji kwasem fosforowym(V) na strukturę porowatą węgla aktywnych otrzymywanych z wyłoków z trzciny cukrowej i łusek ryżowych [H6],
- analizę wpływu temperatury końcowej procesu aktywacji węglanem potasu na kształtowanie się struktury mikroporowatej i właściwości powierzchniowe adsorbentów otrzymywanych ze skorup orzechów pistacjowych oraz drewna hebanowego i mahoniowego [H7],
- badania wpływu czasu aktywacji wodorotlenkiem potasu łupin orzecha włoskiego na kształtowanie się struktury mikroporowatej, stopień niejednorodności i rozkład energii adsorpcji na powierzchni otrzymywanych węgla aktywnych [H8],
- badania wpływu warunków procesu produkcji na kształtowanie się struktury porowatej węgla aktywnych otrzymywanych z ligniny siarczynowej w procesie aktywacji chemicznej z wykorzystaniem wodorotlenków potasu i sodu [H9],
- analizę wpływu temperatury procesu karbonizacji i aktywacji fizycznej z wykorzystaniem pary wodnej i ditlenku węgla oraz rodzaju użytego surowca tj. łupin orzecha włoskiego, pistacjowego i hebanu na strukturalne i powierzchniowe właściwości otrzymywanych adsorbentów węglowych [H10],
- badania wpływu dodatkowego procesu aktywacji chemicznej z wykorzystaniem jako aktywatora: KOH, ZnCl₂, KOH/ZnCl₂ i K₂CO₃, komercyjnego węgla aktywnego WG-12 na kształtowanie się struktury porowatej i właściwości adsorpcyjne tego materiału [H11],
- badania wpływu rodzaju prekursora i modyfikacji chemicznej powierzchni włóknin i tkanin węglowych na ich właściwości adsorpcyjne i strukturalno-powierzchniowe [H12],
- analizę wpływu warunków preparatyki na tworzenie się struktury porowatej i właściwości powierzchniowe pianek węglowych otrzymywanych z alkoholu furfurylowego [H13],

- badania wpływu temperatury aktywacji, czasu aktywacji i szybkości ogrzewania, podczas procesu produkcji adsorbentów sferycznych z żywicy polistyrenowo-diwinylbenzenowej w jednoetapowym procesie pirolizy parą wodną, na kształtowanie się struktury mikroporowatej i właściwości powierzchniowe otrzymywanych materiałów [H14],
- badania oddziaływań CO₂ z mikroporowatym węglem aktywnym domieszkowanym siarką oraz wpływu chemii powierzchni na mechanizm adsorpcji fizycznej na podstawie izoterm adsorpcji otrzymanych w różnych temperaturach [H15],
- badania kolejnych cykli adsorpcji i desorpcji ditlenku węgla w temperaturze 298 K na właściwości adsorpcyjne węgli aktywnych domieszkowanych siarką [H15],
- analizę przeglądową z zakresu oceny właściwości adsorpcyjnych mikroporowatych materiałów węglowych i doboru metod ich produkcji pod kątem adsorpcyjnego magazynowania metanu [H16],
- badania nad możliwością jednoczesnej analizy kilku izoterm adsorpcji różnych substancji, zwiększającą rzetelność uzyskiwanych wyników oraz umożliwiającą precyzyjną ocenę właściwości adsorpcyjnych i powierzchniowych produkowanych materiałów względem dedykowanych adsorbatów na podstawie izoterm adsorpcji innych substancji, których wyznaczenie jest szybsze i prostsze. Badania te prowadzono pod kątem analizy między innymi procesów adsorpcyjnego magazynowania metanu i doboru metod wytwarzania adsorbentów o określonych właściwościach, wymaganych we wspomnianym procesie [H17-H20].

Wymienione powyżej prace prowadziłem równolegle z uzupełniającymi badaniami teoretycznymi dotyczącymi właściwości numerycznych modeli adsorpcji klasy LBET (w latach 2005-2008). Ponadto prowadziłem prace z zakresu energetyki, ochrony środowiska, zrównoważonego rozwoju energetycznego i gospodarki odpadami komunalnymi oraz wychodząc między innymi naprzeciw zapotrzebowaniu społecznemu i wpisując się w trend zrównoważonego rozwoju przygotowałem także **sześć zgłoszeń patentowych**.

Na podstawie opracowanych przeze mnie zgłoszeń patentowych pt. *System oczyszczania i regulacji strumienia powietrza*, **P.418278** (2016) oraz pt. *Nawiewnik z funkcją oczyszczania powietrza*. **P.420735** (2017) udzielone zostały przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie odpowiednio licencja nr **5/2017** oraz licencja nr **12/2017** Partnerowi przemysłowemu i aktualnie prowadzone są zaawansowane prace wdrożeniowe, a także przygotowywana jest promocja wprowadzenia produktów na rynek.

Należy podkreślić, że niniejsze opracowanie nie zawiera szczegółowego omówienia wszystkich wyników prac badawczych, które przedstawione są w tekstach załączonych

publikacji, lecz stanowi zwięzły przegląd przeprowadzonych prac oraz omówienie najważniejszych wyników i sformułowanych na ich podstawie wniosków. Ponadto odniesienia do literatury, w niniejszym opracowaniu są w większości pominięte, gdyż są szczegółowo przedstawione w tekstach załączonych publikacji.

Oryginalny cykl badań, poświęconych analizie wpływu metody wytwarzania na kształtowanie się struktury porowatej adsorbentów węglowych, rozpoczęły badania poświęcone ocenie jakości i rzetelności identyfikacji parametrów struktury porowatej. W ramach tych prac rozważany był wpływ zakresu ciśnienia względnego, w jakim wyznaczone są izotermy adsorpcji, na jakość i wiarygodność identyfikacji otrzymywanych parametrów struktury mikroporowatej [H1]. W tym celu analizowano izotermę adsorpcji azotu na węglu aktywnym AC1 dla różnych zakresów ciśnień względnych p/p_0 , tj. 0,875, 0,532, 0,355 i 0,244. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że dla wszystkich rozważanych zakresów ciśnień względnych uzyskano podobne wartości: energii adsorpcji na pierwszej warstwie, pojemności monowarstwy oraz parametru maksymalnej liczby warstw adsorpcyjnych w klastrach cząsteczek adsorbentu [H1]. Przy największych ciśnieniach względnych zaobserwowano jedynie zależność otrzymywanych wartości parametru szerokości klastrów od zakresu analizowanych ciśnień względnych. Wyniki tych badań są szczególnie użyteczne dla technologów przy pomiarach kontrolnych podczas produkcji adsorbentów węglowych, gdyż dzięki nim można wykonywać badania w ograniczonych zakresach ciśnień względnych, a więc szybsze i tańsze nie tracąc przy tym na jakości i wiarygodności większości wyników [H1].

Kolejno w ramach omawianego cyklu badań analizowany był wpływ stopnia impregnacji i czasu aktywacji wodorotlenkiem potasu na kształtowanie się struktury mikroporowatej, heterogeniczność powierzchni i rozkład energii adsorpcji na pierwszej warstwie dla węgla aktywnych otrzymywanych z antracytu [H2]. Na podstawie wyników analiz numerycznych izoterm adsorpcji azotu, stwierdzono, że wszystkie badane materiały cechują się dużą wartością objętości monowarstwy oraz wąskim rozkładem energii adsorpcji i obecnością wąskich kanałopodobnych mikroporów, w których tworzą się niskie, stosopodobne klasterki cząsteczek adsorbentu. Porównanie wyników dla próbek otrzymanych dla różnych stosunków masowych aktywatora do karbonizatu wykazało, iż dla stosunku 1:1 otrzymano materiały o węższym rozkładzie energii adsorpcji w porównaniu do materiałów otrzymanych przy stosunku KOH/antracyt równym 2:1, jednak o znacznie mniejszej objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej [H2]. W związku z tym wysunięto wniosek, że jeżeli dąży się do uzyskania bardziej jednorodnej struktury porów należy stosować wodorotlenek potasu

przy stopniu impregnacji 1:1, a w celu uzyskania maksymalnej pojemności adsorpcyjnej należy zwiększyć ilość aktywatora.

Należy podkreślić, iż wszystkie otrzymane wyniki analiz definitywnie wskazują na dominujący wpływ struktury pierwotnej surowca na kształtowanie się produktu finalnego w badanym procesie, a co za tym idzie nie będzie możliwe uzyskanie z badanego antracytu, porowatego materiału węglowego o jednorodnej strukturze powierzchni w procesie aktywacji wodorotlenkiem potasu. W ramach prowadzonych badań wykazano także znaczący wpływ czasu karbonizacji i strumienia gazu inertnego, na kształtowanie się struktury porowatej, w szczególności zaobserwowano znaczną zależność wielkości mikroporów od czasu karbonizacji i objętości monowarstwy adsorpcyjnej od strumienia gazu obojętnego [H3].

Badania te pozwoliły na uzyskanie po raz pierwszy tak szerokiego spektrum informacji o tworzącej się strukturze mikroporowatej dla różnych stopni impregnacji, w porównaniu do badań prowadzonych przy wykorzystaniu dotychczas znanych równań procesu adsorpcji. W szczególności uzyskano informacje o objętości pierwszej warstwy zaadsorbowanej. Ponadto wyznaczone parametry geometryczne α i β dały informację o kształcie i wielkości analizowanych mikroporów, a typ najlepiej dopasowanego modelu wskazywał na rodzaj występujących ograniczeń wzrostu klastrów cząsteczek adsorbentu, tj. ograniczeń wynikających z geometrii mikroporów lub z konkurencyjnego wzrostu sąsiadujących klastrów cząsteczek adsorbentu. Wykorzystane narzędzia obliczeniowe umożliwiły także uzyskanie informacji o stopniu niejednorodności powierzchni i rozkładzie energii adsorpcji na powierzchni badanego materiału. Dzięki wspomnianym informacjom można było określić i zbadać mechanizmy występujące w procesie aktywacji wodorotlenkiem potasu oraz ocenić ich wpływ na kształtowanie się struktury porowatej oraz właściwości powierzchniowe i strukturalne wytwarzanych materiałów.

W ramach prowadzonych badań analizowano na podstawie izoterm adsorpcji nie tylko właściwości strukturalne i powierzchniowe badanych materiałów, poprzez wyznaczenie odpowiednich parametrów struktury, ale także wiarygodność wyznaczenia wspomnianych parametrów w oparciu o zdefiniowany wskaźnik identyfikowalności i porównanie wartości dyspersji błędów dopasowania izoterm teoretycznych do danych doświadczalnych dla trzech najlepszych dopasowań. Także wnikliwej analizie porównawczej poddano rozkłady energii adsorpcji, wartości parametrów geometrycznych i typy modeli dla trzech najlepszych dopasowań. Informacja o tym, że dany układ adsorpcyjny jest gorzej identyfikowalny od innych, jest wskazówką dla technologa wykorzystującego wspomniane narzędzia, iż należy zweryfikować otrzymane wyniki lub założyć odpowiedni margines błędu.

Wpływ stosunku masy aktywatora do masy materiału surowego na kształtowanie się struktury mikroporowatej i właściwości powierzchniowych w procesie aktywacji z wykorzystaniem wodorotlenku potasu, rozważany był także w przypadku adsorbentów otrzymywanych ze skorup orzecha włoskiego [H4]. Na podstawie przeprowadzonej analizy izoterm adsorpcji benzenu okazało się, że stosunek masy aktywatora do masy materiału surowego, ma znaczący wpływ na parametry uzyskiwanej struktury mikroporowatej [H4]. W szczególności mikroporowaty materiał węglowy otrzymany dla stosunku 1:1, wykazywał optymalne właściwości adsorpcyjne z uwzględnieniem właściwości sitowo-molekularnych. Zwiększanie stosunku masowego KOH/karbonizat do wartości 2:1 i 3:1 zaowocowało wzrostem heterogeniczności powierzchni, przy braku znaczącego wzrostu pojemności adsorpcyjnej, czyli pogorszeniu uległy właściwości adsorpcyjne materiału.

Wyniki analiz uzyskane za pomocą metody LBET, korelowały z wynikami otrzymanymi innymi metodami. Jednak to metoda LBET dostarczyła bardziej szczegółowych i rzetelnych informacji o badanej strukturze mikroporów, dzięki czemu możliwe jest optymalne dobranie metody i warunków procesu wytwarzania w celu uzyskania oczekiwanej struktury porów i właściwości powierzchniowych.

W ramach prowadzonych badań wykonano także analizę wpływu stopnia impregnacji kwasem fosforowym (V) na rozwój struktury porowatej, stopień niejednorodności powierzchni i rozkład energii na pierwszej warstwie adsorpcyjnej materiałów węglowych otrzymywanych z łupin orzecha włoskiego i pistacjowego [H5]. Wspomniane adsorbenty zostały otrzymane dla stopni impregnacji $R = 0,5; 1; 1,5; 2$, w temperaturze 450°C przy czasie wygrzewania równym 1 h. Strukturę mikroporowatą otrzymanych węgli aktywnych analizowano na podstawie izoterm adsorpcji benzenu, wyznaczonych w temperaturze 25°C . Na podstawie wspomnianych badań wykazano, że ilość H_3PO_4 ma znaczący wpływ na rozwój struktury mikroporowatej adsorbentów węglowych, tj. w przypadku małego stopnia impregnacji, rozwijała się głównie struktura mikroporowata, podczas gdy w przypadku większych stosunków kwasu fosforowego(V) do surowca następowało poszerzanie się struktury mikroporowatej i tworzenie mezoporów [H5].

Znaczący okazał się także wpływ surowca na parametry struktury mikroporowatej, a mianowicie powierzchnia adsorbentów otrzymywanych z łupin orzecha włoskiego była dla każdego stopnia impregnacji heterogeniczna, podczas gdy dla węgli aktywnych wytwarzanych z łupin orzechów pistacjowych dla stopnia impregnacji 0,5:1 i 1:1 udało się uzyskać homogeniczną strukturę powierzchni [H5]. Z drugiej strony adsorbenty otrzymywane z łupin orzecha włoskiego charakteryzowały się znacznie większymi wartościami objętości

pierwszej warstwy adsorpcyjnej. Szczególną uwagę zwróciła analiza struktury materiału otrzymanego z orzecha włoskiego przy stopniu impregnacji równym 1,5:1. W tym przypadku otrzymano dużą wartość pojemności pierwszej warstwy adsorpcyjnej oraz bardzo dużą wartość parametru geometrycznego szerokości klasterów cząsteczek adsorbentu, co świadczy o poszerzaniu się średnic mikroporów i destrukcji ścianek między sąsiadującymi mikroporami. Dalsze zwiększanie stopnia impregnacji do 2:1 prowadziło do uzyskania bardzo szerokiego zakresu wartości energii na powierzchni, a co za tym idzie materiału o właściwościach niepożądanych w procesach adsorpcyjnych [H5].

Omówione badania dostarczyły pełnego spektrum informacji na temat wpływu parametrów procesów wytwarzania i rodzaju surowca na kształtowanie się struktury mikroporowatej oraz właściwości powierzchniowe mikroporowatych materiałów węglowych. Informacji takich, co należy podkreślić, nie można uzyskać za pomocą prostych metod opisu adsorpcji opartych na równaniach BET, DR stosowanych powszechnie przez technologów i inżynierów, a co za tym nie jest możliwe za pomocą wspomnianych metod dobranie optymalnych warunków produkcji w celu otrzymania węgla aktywnego o założonych właściwościach adsorpcyjnych. Dopiero dzięki pełnemu zestawieniu informacji o strukturze mikroporów, heterogeniczności powierzchni i rozkładzie energii adsorpcji na powierzchni badanego mikroporowatego materiału węglowego, pozyskiwanej za pomocą metody LBET można zaprojektować racjonalnie proces produkcji adsorbentów węglowych z danego surowca w celu otrzymania materiałów mikroporowatych o konkretnej wymaganej strukturze porowatej i oczekiwanych właściwościach adsorpcyjnych.

Badania wpływu stopnia impregnacji kwasem fosforowym(V) na kształtowanie się struktury mikroporowatej otrzymywanych węgli aktywnych przeprowadzono także dla materiałów otrzymywanych z wyłoków z trzciny cukrowej i łusek ryżowych [H6]. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono między innymi wzrost objętości pierwszej warstwy zaadsorbowanej, ale jednocześnie także heterogeniczności powierzchni wraz ze wzrostem stopnia impregnacji. Przeprowadzone analizy potwierdziły ponadto sygnalizowany wcześniej znaczący potencjał możliwości wykorzystania materiałów odpadowych pochodzenia biomasowego jako surowców do produkcji węgli aktywnych [H6].

W prowadzonym cyklu prac badawczych rozważany był także wpływ temperatury końcowej procesu aktywacji węglanem potasu K_2CO_3 skorup orzechów pistacjowych oraz drewna hebanowego i mahoniowego, na kształtowanie się struktury mikroporowatej i właściwości powierzchniowe otrzymywanych adsorbentów węglowych [H7]. Wspomniane adsorbenty otrzymano w procesie karbonizacji w atmosferze przepływającego argonu,

dla temperatur końcowych $T = 750^{\circ}\text{C}$, 800°C , 850°C i 900°C [H7]. Następnie, w celu rozwinięcia struktury mikroporowatej karbonizatów, przeprowadzono proces aktywacji z użyciem K_2CO_3 w temperaturach równych końcowym temperaturom karbonizacji. Strukturę mikroporowatą tak otrzymanych adsorbentów analizowano na podstawie izoterm adsorpcji benzenu z wykorzystaniem metody LBET. W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że w przypadku adsorbentu otrzymanego z łupin orzechów pistacjowych w temperaturze 750°C , struktura materiału jest umiarkowanie niejednorodna. W materiale tym tworzą się niskie i rozgałęzione klasterki cząsteczek adsorbentu, a wzrost poszczególnych klasterów cząsteczek adsorbentu blokowany jest przez konkurencyjną adsorpcję [H7]. Analiza materiału otrzymanego z łupin orzechów pistacjowych w temperaturze 800°C wykazała z kolei obecność niskich i rozgałęzionych klasterów oraz ograniczenia ich wzrostu wynikające z geometrii mikroporów. Objętość pierwszej warstwy adsorpcyjnej była większa w porównaniu do adsorbentu otrzymanego w niższej temperaturze. Interesujące wyniki otrzymano dla materiału uzyskanego z łupin orzecha pistacjowego w procesie aktywacji węglanem potasu w temperaturze 850°C , a mianowicie otrzymany produkt był jednorodny i charakteryzował się wąskim spektrum energii miejsc adsorpcyjnych. W porównaniu z adsorbentem węglowym otrzymanym w temperaturze 850°C , zwiększenie temperatury procesu aktywacji do 900°C spowodowało wzrost niejednorodności powierzchni i zwiększanie objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej [H7].

Analiza izoterm benzenu wyznaczonych dla materiałów otrzymanych z drewna hebanowego w procesie aktywacji K_2CO_3 wykazała, iż uzyskana struktura powierzchni była jednorodna z wyjątkiem próbki otrzymanej w temperaturze 800°C [H7]. Z kolei największą wartość objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej uzyskano dla próbki otrzymanej w temperaturze 900°C . Analiza próbek materiałów uzyskanych z drewna mahoniowego wykazała, iż próbki otrzymane w temperaturach od 750 do 850°C , miały jednorodne powierzchnie, podczas gdy próbka otrzymana w temperaturze aktywacji 900°C cechowała się niejednorodną powierzchnią, co wskazuje na destrukcyjny wpływ wyższej temperatury [H7].

Na podstawie przedstawionych powyżej wyników badań można także stwierdzić, że odpadowe drewno hebanowe i mahoniowe jest bardzo interesującym i cennym materiałem do produkcji wysokiej jakości węgla aktywnych zarówno w formie pylistej jak i granulowanej oraz monolitów węgla aktywnych o dużej pojemności adsorpcyjnej i jednorodnej strukturze powierzchni [H7]. A ponadto wspomniane materiały mogą z powodzeniem konkurować z mikroporowatymi adsorbentami węglowymi otrzymywanymi w łupin i pestek owoców oraz z innych prekursorów [H7].

W ramach prowadzonych badań analizowany był także wpływ czasu aktywacji wodorotlenkiem potasu łupin orzecha włoskiego na kształtowanie się struktury mikroporowatej materiałów węglowych [H8]. W obliczeniach wykorzystano 48 wariantową wersję grupy modeli klasy LBET, która obejmuje szersze spektrum kształtów dystrybucji energii adsorpcji na powierzchni materiałów węglowych, w porównaniu do wersji 30 wariantowej i bierze ponadto pod uwagę także szczególne przypadki rozkładu energii adsorpcji. Analiza izoterm adsorpcji benzenu wykazała między innymi, że w przypadku krótszych czasów aktywacji tj. w okresie od 10 do 180 minut, otrzymywano materiały o jednorodnej strukturze mikroporów [H8]. Natomiast po dłuższych okresach aktywacji tj. 240 i 300 minut, otrzymano materiały o znacznej niejednorodności powierzchni, co potwierdziły także wartości parametrów geometrycznych. Wskazuje to na fakt, iż wydłużenie procesu aktywacji spowodowało wypalenie ścianek pomiędzy poszczególnymi mikroporami. W związku z tym, gdy zamierza się uzyskać materiał o jak najbardziej jednorodnej strukturze i maksymalnej zdolności adsorpcyjnej należy wykonać dodatkowe analizy dla czasów aktywacji od 180 do 240 minut [H8].

W ramach prowadzonych badań analizowano także kompleksowo wpływ warunków procesu wytwarzania na kształtowanie się struktury porowatej adsorbentów otrzymanych w procesie aktywacji chemicznej ligniny siarczanowej wodorotlenkami potasu i sodu [H9]. W ramach tych prac do analiz izoterm adsorpcji azotu, obok popularnych metod BET i DR, wykorzystano także dwie całkowicie odmienne metody opisu struktury mikroporowatej adsorbentów, uwzględniające heterogeniczność powierzchni tj. metody LBET i QSDFT.

Na podstawie otrzymanych wyników badań stwierdzono znaczący wpływ natury chemicznej aktywatora na kształtowanie się struktury porowatej węgla aktywnych otrzymanych z demineralizowanej ligniny siarczanowej [H9]. W szczególności wykazano między innymi, iż w przypadku aktywacji z wykorzystaniem wodorotlenku potasu KOH otrzymuje się węgle aktywne o powierzchniach właściwych i objętościach mikroporów oraz objętościach pierwszej warstwy zaadsorbowanej zdecydowanie większych w porównaniu do węgla otrzymanych w procesie aktywacji wodorotlenkiem sodu NaOH [H9].

W procesie aktywacji KOH, zaobserwowano ponadto wzrost stopnia niejednorodności wraz ze wzrostem temperatury aktywacji, a w tym jednakowy stopień heterogeniczności powierzchni dla węgla aktywnych otrzymanych w zakresie temperatur od 700°C do 800°C [H9]. Z kolei wartości parametru heterogeniczności, dla węgla aktywnych otrzymanych w procesie aktywacji NaOH były różne dla kolejnych temperatur tzn. brak jest korelacji z temperaturą procesu aktywacji, co wskazuje to na niekontrolowany przebieg reakcji.

Analiza wartości parametrów wysokości klastrów cząsteczek adsorbentu, wskazała analogicznie jak w przypadku stopnia heterogeniczności na brak korelacji tego parametru z temperaturą w przypadku węgla aktywnych otrzymanych z wykorzystaniem NaOH oraz zmniejszanie się wysokości klastrów cząsteczek adsorbentu wraz ze wzrostem temperatury w procesie aktywacji KOH [H9]. Jednak co wykazały przeprowadzone obliczenia to jednak aktywacja z wykorzystaniem NaOH pozwoliła na otrzymanie węgla aktywnego w temperaturze aktywacji równej 700°C o najmniejszym stopniu niejednorodności powierzchni.

Także na podstawie wyników analiz izoterm adsorpcji azotu na węglach aktywnych otrzymanych w procesie aktywacji NaOH i KOH, przy różnych stosunkach masowych, wykazano iż w przypadku aktywacji KOH otrzymano węgle aktywne o większym stopniu niejednorodności powierzchni, ale jednocześnie o większych wartościach powierzchni właściwej, objętości mikroporów i objętości pierwszej warstwy zaadsorbowanej [H9]. Zwraca jednak uwagę fakt, iż w przypadku aktywacji KOH, bardzo czułe na zmiany wartości stosunku masowego aktywatora do surowca są wielkość powierzchni właściwej i parametr heterogeniczności powierzchni. W związku z tym konieczne jest przeprowadzenie kompleksowej analizy wpływu stosunku masowego aktywatora do surowca na kształtowanie się struktury porowatej węgla aktywnych otrzymywanych z demineralizowanej ligniny siarczanowej w procesie aktywacji KOH. Wyniki analiz struktury węgla aktywnych otrzymanych w procesach aktywacji NaOH i KOH dla różnych strumieni gazu inertnego, potwierdzają wcześniejsze wnioski, zwraca jednak uwagę mniejszy wpływ strumienia gazu obojętnego na kształtowanie się struktury mikroporowatej w przypadku prowadzenia procesu aktywacji z wykorzystaniem wodorotlenku potasu [H9].

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano między innymi sygnalizowany wcześniej problem, iż zastosowanie samych metod BET i DR do opisu struktury węgla aktywnych, niejednokrotnie uniemożliwia rzetelny opis struktury porów i procesów adsorpcji w nich zachodzących, gwarantujący uzyskanie informacji, na podstawie których można precyzyjnie dobrać warunki procesu produkcji węgla aktywnych [H9]. W związku z powyższymi zasadne było, a wręcz wskazane wykorzystanie zaawansowanych metod analizy struktury porów, uwzględniających między innymi niejednorodność powierzchni, takich jak zastosowane w badaniach metody LBET i QSDFT.

Jak wykazano w ramach niniejszych badań szczególnie metoda LBET okazała się odpowiednia do analizy struktury porowatej węgla aktywnych o dominującej strukturze mikroporów otrzymanych z demineralizowanej ligniny siarczanowej [H9]. Znaczną

użyteczność w prowadzonych analizach wykazała także metoda QSDFT pozwalająca na wyznaczenie rozkładu objętości porów, z bardzo dużą wiarygodnością z uwagi na założenie w użytym modelu heterogeniczności i szorstkości powierzchni w odróżnieniu od starszej popularnej metody NLDFT [H9]. W ramach prowadzonych analiz nie zaobserwowano żadnych artefaktów, występujących w przypadku wcześniejszej metody NLDFT, a informacje o kształcie rozkładu wielkości porów, pozwoliły na bardziej rzetelny i wiarygodny opis struktury porów, a co za tym idzie także na bardziej rzetelną ocenę wpływu typu aktywatora, temperatury aktywacji, stosunku masowego aktywatora do ligniny oraz strumienia gazu obojętnego na kształtowanie się struktury porowatej otrzymywanych adsorbentów [H9].

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono także, że metody opisu struktury porowatej i procesów adsorpcji na powierzchni materiałów węglowych opierające się na analizie izoterm adsorpcji azotu, wykorzystane w ramach niniejszych badań tj. metody BET, DR, LBET i QSDFT są wzajemnie komplementarne, tzn. analizy struktury porowatej wykonane z ich wykorzystaniem wzajemnie się uzupełniają dając razem pełne spektrum użytecznych informacji zarówno dla naukowców jak i technologów [H9]. Jednoczesne wykorzystanie wspomnianych metod w analizie struktury porowatej adsorbentów, pozwala na weryfikację uzyskiwanych informacji i ocenę ich rzetelności oraz znacznie ułatwia interpretację otrzymywanych wyników.

Na podstawie uzyskanych informacji o strukturze porowatej dla poszczególnych węgli aktywnych otrzymanych w różnych warunkach preparatyki możliwe jest precyzyjne określenie optymalnych warunków procesu produkcji tych adsorbentów z uwzględnieniem szerokiego spektrum aspektów, w celu uzyskania materiałów o ściśle określonych właściwościach wymaganych w danym procesie adsorpcyjnym.

W cyklu omawianych badań analizowano także wpływ temperatury procesu karbonizacji i aktywacji fizycznej z wykorzystaniem pary wodnej i ditlenku węgla oraz rodzaju użytego surowca tj. łupin orzecha włoskiego, pistacjowego i hebanu na strukturalne i powierzchniowe właściwości otrzymywanych adsorbentów węglowych [H10]. Próbkę adsorbentów otrzymano w procesie karbonizacji w atmosferze argonu, dla temperatur końcowych 800°C, 850°C i 900°C. Następnie w celu rozwinięcia powierzchni wewnętrznej karbonizatów, prowadzona była aktywacja ditlenkiem węgla i parą wodną dla końcowych temperatur aktywacji 800°C, 850°C i 900°C, równych końcowym temperaturom karbonizacji [H10]. Strukturę porowatą otrzymanych adsorbentów scharakteryzowano następnie za pomocą pomiarów adsorpcji benzenu. Na podstawie otrzymanych wyników analiz struktury adsorbentów pozyskanych z łupin orzecha włoskiego, stwierdzono między innymi,

że w przypadku aktywacji parą wodną w temperaturze 800°C, otrzymany materiał cechuje się dużą heterogenicznością powierzchni i szerokim rozkładem energii dla pierwszej warstwy zaadsorbowanej, a ograniczenia wzrostu klasterów cząsteczek adsorbentu wynikają z geometrii porów [H10]. Z kolei dla materiału otrzymanego w temperaturze 850°C, struktura porowata cechowała się mniejszym stopniem heterogeniczności i nieznacznie większą objętością pierwszej warstwy adsorpcyjnej.

Ciekawe wnioski nasunęły się po analizie wyników uzyskanych dla temperatury aktywacji 900°C, a mianowicie adsorbent otrzymany w tej temperaturze cechował się większym stopniem niejednorodności powierzchni oraz mniejszą wartością objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej w porównaniu do poprzednio omawianego materiału. Wynika z tego wniosek, że zwiększenie temperatury procesu o 50°C pogorszyło właściwości adsorpcyjne materiału, jednocześnie zwiększając koszty produkcji związane z większym nakładem energetycznym [H10]. Wniosek ten potwierdza unikalny, użyteczny charakter tych badań i znaczący potencjał wykorzystania w praktyce przemysłowej, zarówno wyników badań, jak i samej metody LBET. W przypadku analizy materiałów otrzymanych z łupin orzecha pistacjowego aktywowanych parą wodną zwróciło uwagę przede wszystkim to, iż otrzymane adsorbenty cechowały się jednorodną powierzchnią [H10]. Największą wartość objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej otrzymano dla próbki karbonizowanej i aktywowanej w temperaturze 900°C. Z kolei analiza izoterm adsorpcji benzenu dla karbonizatów otrzymanych z drewna hebanowego i aktywowanych parą wodną wykazała wysoki stopień heterogeniczności powierzchni oraz szerokie spektrum energii adsorpcji na powierzchni analizowanych materiałów [H10]. Porównanie powyższych wyników, z wynikami badań dla mikroporowatych materiałów węglowych otrzymanych z drewna hebanowego w procesie aktywacji węglanem potasu K_2CO_3 [H7], nasunęło jednoznaczny wniosek, że aktywowanie parą wodną tego surowca, marnuje drzemiący w nim potencjał możliwości produkcji z niego wysokiej jakości adsorbentów.

Analiza karbonizatów otrzymanych z łupin orzecha włoskiego i pistacjowego aktywowanych ditlenkiem węgla wykazała znaczące różnice w stosunku do omawianej powyżej aktywacji parą wodną. W mikroporach adsorbentu otrzymanego z łupin orzecha włoskiego aktywowanego w temperaturze 800°C formowały się niskie klasterki cząsteczek adsorbentu, podczas gdy w wyższych temperaturach tworzyły się wysokie rozgałęzione klasterki, a układ cechował się dużym stopniem jednorodności powierzchni [H10].

Aktywacja ditlenkiem węgla karbonizatów otrzymanych z łupin orzecha pistacjowego prowadziła do otrzymania adsorbentów o większej objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej,

jednak o większym stopniu niejednorodności niż w przypadku aktywacji parą wodną. W przypadku analizy izoterm adsorpcji wyznaczonych dla adsorbentów otrzymanych z hebanu na drodze aktywacji ditlenkiem węgla zwróciło uwagę zmniejszanie się wraz ze wzrostem temperatury objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej i wysokości oraz szerokości klasterów cząsteczek adsorbentu [H10]. Podobnie, jak w przypadku karbonizatów z łupin orzechów pistacjowych, otrzymane materiały były jednorodne dla pierwszej warstwy zaadsorbowanej i heterogeniczne dla warstw wyższych, a wykresy rozkładu energii wskazywały na dominację miejsc adsorpcyjnych o wąskim spektrum energii.

W ramach prowadzonych prac przeprowadzono także kompleksowe badania wpływu dodatkowego procesu aktywacji chemicznej węgla aktywnego WG-12 produkowanego przez Gryfskand Sp. z o. o. Hajnówka na kształtowanie się jego struktury porowatej i właściwości adsorpcyjne [H11]. Procesy dodatkowej aktywacji przeprowadzono z wykorzystaniem jako aktywatora KOH, ZnCl₂, KOH/ZnCl₂ i K₂CO₃, a analizy struktury porowatej wykonano na podstawie izoterm adsorpcji azotu z wykorzystaniem metod: BET, DR, NLDFT, QSDFT oraz metody LBET [H11]. W ramach prowadzonych analiz dla poszczególnych próbek węgla aktywnych wyznaczono wielkość powierzchni właściwej i objętości mikroporów oraz rozkłady objętości porów w funkcji ich średnicy. Ponadto na podstawie analiz z wykorzystaniem metody LBET wyznaczono rozkłady energii adsorpcji na powierzchni adsorbentu oraz uzyskano unikalne informacje o dominujących ograniczeniach rozbudowy klasterów, stopniu niejednorodności powierzchni, objętości pierwszej warstwy zaadsorbowanej, informacje o wysokości i szerokości klasterów cząsteczek adsorbentu oraz maksymalnej wartości energii adsorpcji [H11].

Na podstawie przeprowadzonych badań zaobserwowano korelację wyników otrzymanych za pomocą różnych metod w tym szczególnie rozkładu objętości porów w funkcji ich wielkości wyznaczonego metodą QSDFT i energii adsorpcji na pierwszej warstwie wyznaczonej metodą LBET, co potwierdza poprawność przyjętych założeń i rzetelność otrzymywanych wyników za pomocą jednej jak i drugiej metody [H11]. Jednak wyznaczone metodami NLDFT i QSDFT kształty rozkładów objętości porów oraz rozkład energii adsorpcji na pierwszej warstwie wyznaczony za pomocą metody LBET, potwierdziły wady metody NLDFT, szczególnie w przypadku analizy materiałów o powierzchniach silnie heterogenicznych, tj. pojawianie się artefaktów na wykresach rozkładów, niemające żadnego uzasadnienia w rzeczywistości [H11].

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono różny wpływ zastosowanych aktywatorów na zmianę właściwości geometrycznych i energetycznych powierzchni.

Znajomość tych zależności pozwala na modyfikację wspomnianych właściwości, w celu otrzymania adsorbentu najbardziej odpowiedniego do danego procesu [H11].

W szczególności analiza wyników otrzymanych na podstawie izotermy adsorpcji azotu wyznaczonej dla próbki węgla aktywnego WG-12 poddanego dodatkowemu procesowi aktywacji z wykorzystaniem jako aktywatora KOH, wykazała wzrost wartości powierzchni właściwej i objętości mikroporów oraz wzrost objętości porów o wielkości od około 0.7 do 1.2 nm [H11]. W stosunku do surowej próbki WG-12 zmniejszyła się heterogeniczność powierzchni, wartości parametrów energetycznych nie uległy jednak znaczącej zmianie, a jedynie zmianie uległ jednak kształt wykresu rozkładu energii, tj. można zaobserwować większy udział miejsc adsorpcyjnych o dużej energii adsorpcji na pierwszej warstwie w porównaniu do próbki pierwotnej WG-12 [H11]. Znacząco zwiększeniu uległa wartość parametru objętości pierwszej warstwy zaadsorbowanej, co świadczy o znaczącym zwiększeniu się liczby pierwotnych miejsc adsorpcyjnych, a tym samym powierzchni właściwej. Wzrosła także wartość parametru wysokości klastrów cząsteczek adsorbentu, a co za tym idzie zwiększyła się także wysokość tworzących się klastrów. Warto zwrócić uwagę na korelację wyników otrzymanych za pomocą różnych metod w tym szczególnie rozkładu objętości porów w funkcji ich wielkości wyznaczonego metodą QSDFT i energii adsorpcji na pierwszej warstwie wyznaczonej metodą LBET, co potwierdza poprawność przyjętych założeń i rzetelność otrzymywanych wyników [H11]. Z kolei w przypadku próbki poddanej aktywacji chlorkiem cynku zaobserwowano znaczący wpływ obróbki $ZnCl_2$ na energetykę powierzchni i znikomy wpływ na zmiany geometrii porów, co podważa zasadność stosowania dodatkowej obróbki węgla aktywnego WG-12 chlorkiem cynku, z uwagi na to, że poniesione nakłady finansowe na wspomniany proces technologiczny, nie wpływają znacząco na poprawę właściwości adsorpcyjnych tego materiału [H11].

Interesujące wyniki otrzymano także dla próbki węgla aktywnego WG-12 poddanego wieloetapowej obróbce KOH i $ZnCl_2$ z wykorzystaniem metody LBET, a mianowicie próbka WG-12/KOH/ $ZnCl_2$ cechowała się najmniejszym stopniem heterogeniczności powierzchni spośród wszystkich analizowanych materiałów, przy czym jednak najmniejszą wartością energii adsorpcji. Z kolei wartości parametrów geometrycznych tego węgla aktywnego były praktycznie identyczne do tych uzyskanych dla adsorbentu otrzymanego przy jednoetapowej obróbce KOH [H11]. Znacząco jednak różni się w przypadku próbki węgla aktywnego WG-12/KOH/ $ZnCl_2$ od pozostałych analizowanych próbek kształt rozkładu energii adsorpcji na powierzchni, który wskazuje na to iż pierwotne miejsca adsorpcyjne mają praktycznie identyczną energię, co z kolei oznacza, iż badany adsorbent jest homogeniczny dla pierwszej

warstwy zaadsorbowanej i heterogeniczny dla warstw wyższych [H11]. Wyniki te potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia na temat działania na powierzchnię węgla aktywnego WG-12, wodorotlenku potasu i chlorku cynku, a mianowicie KOH wpływa na modyfikację właściwości geometrycznych powierzchni materiału, podczas gdy $ZnCl_2$ jest odpowiedzialny za zmianę właściwości energetycznych powierzchni adsorbentu. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż takie informacje można było uzyskać jedynie za pomocą metody LBET, podczas gdy metody BET i DR oraz bardziej zaawansowane podejścia bazujące na teorii funkcjonału gęstości tj. metody NLDFT i QSDFT nie umożliwiają dokonania tak kompleksowej analizy [H11]. Kształty wykresów rozkładów objętości porów w funkcji ich wielkości otrzymanych za pomocą metody QSDFT dla próbek WG-12/KOH i WG-12/KOH/ $ZnCl_2$ są praktycznie identyczne, jednak jak wykazano za pomocą metody LBET różnice we właściwościach adsorpcyjnych tych materiałów są znaczące [H11].

W przypadku analizy izotermy adsorpcji azotu na węglu aktywnym WG-12 poddanego dodatkowej obróbce K_2CO_3 analiza rozkładów objętości porów otrzymanych metodami zarówno NLDFT jak i QSDFT, nie wykazała znaczących różnic w porównaniu do wyników uzyskanych dla próbki węgla aktywnego WG-12. Dopiero analiza wykonana za pomocą metody LBET wykazała, iż badany materiał jest silnie heterogeniczny, a w jego mikroporach tworzą się wysokie i nie rozgałęziające się klastery cząsteczek adsorbentu [H11].

Jak wykazano w ramach przeprowadzonych badań metoda LBET, pozwala na uzyskanie najszerszego spektrum informacji o analizowanej strukturze, z dużą rzetelnością, dzięki czemu stanowi alternatywę dla popularnej metody QSDFT. Jednak jak wykazano wskazane byłoby jednak wykonywanie jednoczesnych analiz z wykorzystaniem metod BET, DR, QSDFT i LBET, gdyż dzięki temu można uzyskać najwięcej rzetelnych i miarodajnych informacji o strukturze porowatej materiału, użytecznych w ocenie wpływu warunków procesu preparatyki na kształtowanie się jego struktury porowatej [H11].

W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie wykorzystaniem porowatych materiałów węglowych w nowych gałęziach przemysłu i techniki takich, jak między innymi klimatyzacja, chłodnictwo, odzyskiwanie rozpuszczalników, oczyszczanie strumieni powietrza, rozdzielanie mieszanin oraz magazynowanie paliw gazowych. Nowe możliwości rozwoju dla wspomnianych technik stwarzają nowoczesne materiały węglowe, takie jak np. węglowe sita molekularne czy też aktywowane włókniny węglowe, cechujące się jednorodną strukturą porów i przeciętnie dwu lub trzykrotnie większą pojemnością adsorpcyjną w porównaniu do standardowych węgli aktywnych. Ponadto aktywowane włókniny węglowe charakteryzują się szybszą kinetyką procesu w porównaniu z granulowanymi węglami aktywnymi, a wąski

zakres wielkości porów umożliwia łatwe wytwarzanie materiałów selektywnie adsorbujących określone związki.

Racjonalne wykorzystanie aktywowanych włókien węglowych, w tym aktywowanych tkanin węglowych, właściwy dobór warunków ich preparatyki, związane są nierozdzielnie z koniecznością dokładnego i wiarygodnego opisu ich struktury mikroporowatej. W związku z tym powstała idea zbadania wpływu prekursora i modyfikacji powierzchni na właściwości adsorpcyjne aktywowanych włókien i tkanin węglowych [H12]. Badania przeprowadzone zostały na podstawie zaczerpniętych z literatury izoterm adsorpcji azotu na aktywowanych włókninach węglowych CF30 otrzymanych w procesie aktywacji parą wodną i CFOX poddanych dodatkowo obróbce HNO_3 w celu zwiększenia liczby powierzchniowych grup tlenowych oraz na aktywowanych tkaninach węglowych ACC-1, otrzymanych z włókien wiskozowych [H12]. Na podstawie przeprowadzonych badań numerycznych stwierdzono, iż powierzchnia aktywowanej włókniny węglowej CF30 jest heterogeniczna, z dominującą frakcją wąskich kanałowych mikroporów, a wzrost klastrów cząsteczek adsorbentu jest blokowany przez ograniczenia geometryczne struktury mikroporowatej. Porównanie wyników uzyskanych dla próbki CF30 i próbki CFOX, dało ciekawe obserwacje, a mianowicie w wyniku procesu utleniania nastąpiło rozszerzenie się i zwiększenie głębokości mikroporów w porównaniu do próbki nie poddanej działaniu kwasu [H12]. Zwróciły uwagę także szerszy rozkład energii adsorpcji dla próbki CFOX i słabsza identyfikowalność układu.

Coraz większe wymagania stawiane adsorbentom w związku z pojawiającymi się nowymi dziedzinami zastosowań, w tym między innymi w superkondensatorach oraz wady konwencjonalnych prekursorów takich, jak węgiel kamienny, antracyt, koks naftowy i materiały lignocelulozowe, związane z obecnością zanieczyszczeń nieorganicznych i popiołu, spowodowały wzrost zainteresowania produkcją materiałów mikroporowatych z żywic fenolowych, polichloroku winylu, poliakrylonitrylu oraz alkoholu polifurfurylowego [H13]. Szczególnie porowate materiały węglowe otrzymywane z alkoholu furfurylowego cechują się znaczną powierzchnią właściwą, dużymi możliwościami kontrolowania wielkości porów oraz dobrą przewodnością i pojemnością elektryczną.

Właściwy dobór metody wytwarzania wymaga jednak precyzyjnej oceny uzyskiwanej struktury porowatej, w związku z tym powstała koncepcja, przeprowadzenia unikalnych badań wpływu warunków preparatyki pianek węglowych otrzymywanych różnymi metodami z alkoholu furfurylowego, na tworzenie się struktury mikroporowatej i ich właściwości powierzchniowe [H13]. Na podstawie przeprowadzonych analiz izoterm adsorpcji azotu, stwierdzono, że materiał otrzymany w procesie chemicznej polimeryzacji z fazy parowej nad

roztopionym kwasem szczawiowym ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) w temperaturze 120°C i następnie poddany karbonizacji w atmosferze argonu w temp. 800°C , oznaczony jako PX1 jest niejednorodny z przeważającą frakcją mikroporów, wewnątrz których tworzą się niskie, rozgałęzione, klastery cząsteczek adsorbentu. Ograniczenia wzrostu wspomnianych klastrów wynikają z konkurencyjnej adsorpcji, a przeważająca część miejsc adsorpcyjnych cechuje się wąskim spektrum energii [H13]. Próbką PX1 była wyjątkowo dobrze identyfikowalna, a co za tym idzie parametry modeli LBET i rozkład dystrybucji energii na powierzchni pierwszej warstwy adsorpcyjnej wyznaczone zostały z dużą wiarygodnością [H13]. Analiza izotermy adsorpcji azotu, uzyskanej dla pianki węglowej PX2 otrzymanej w procesie chemicznej polimeryzacji z fazy parowej nad roztopionym kwasem szczawiowym ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) w temperaturze 150°C i następnie poddanej analogicznie procesowi karbonizacji, uwidoczniła znaczący wpływ temperatury procesu polimeryzacji na kształtowanie się struktury porowatej [H13]. W materiale tym dominowały wąskie kanałopodobne mikropory, w odróżnieniu od pianki węglowej PX1, w której dominowały szerokie mikropory. W przypadku pianki węglowej PX2, uzyskano także większą pojemność pierwszej warstwy zaadsorbowanej.

Kolejną analizowaną próbką P1, otrzymana z roztworu wodnego alkoholu furfurylowego z wykorzystaniem $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ jako katalizatora oraz środka powierzchniowo czynnego odpowiedzialnego za tworzenie struktury porowatej i następnie poddana karbonizacji w atmosferze argonu w temperaturze 800°C , cechowała się jednorodną strukturą powierzchni z przeważającą frakcją wysokich i rozszerzających się mikroporów, o bardzo szerokim rozkładzie energii pierwotnych miejsc adsorpcyjnych [H13]. Z kolei próbka P2, podczas preparatyki, której dodano do mieszaniny reakcyjnej olej mineralny, wykazywała zdecydowanie odmienne właściwości adsorpcyjne w porównaniu do próbki P1, a mianowicie w materiale tym wytworzyły się średniej głębokości, kanałopodobne mikropory o dominującym wąskim rozkładzie energii pierwotnych miejsc adsorpcyjnych. Spadła ponadto znacząco wartość objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej, w porównaniu do omawianej wcześniej próbki P1. Analiza pianki oznaczonej jako P3 wskazała na silnie niejednorodny materiał o wąskim spektrum energii pierwotnych miejsc adsorpcyjnych, w mikroporach którego tworzą się niskie i rozgałęzione klastery cząsteczek adsorbentu [H13].

Analiza kolejnych próbek oznaczonych jako D1 i D2, otrzymanych w procesie polimeryzacji alkoholu furfurylowego na micelach wytworzonych z emulsji woda-dekan w obecności środka powierzchniowo czynnego oraz kwasu solnego jako katalizatora i następnie poddanych karbonizacji w atmosferze argonu w temp. 800°C , wykazała także znaczący wpływ warunków preparatyki tj. stosunku masowego wody do dekanu na

kształtowanie się struktury mikroporowatej oraz dużą użyteczność modeli klasy LBET w tego typu analizach [H13]. W przypadku próbki D1, otrzymanej przy stosunku woda/dekanu równym 1:3 uzyskano wyniki świadczące o niejednorodnej powierzchni i szerokim spektrum energii adsorpcji na pierwszej warstwie. Z kolei próbka D2, otrzymana przy stosunku 3:1 odznaczała się mniejszym stopniem niejednorodności powierzchni i węższym spektrum energii pierwotnych miejsc adsorpcyjnych.

Kolejno badane były materiały oznaczone symbolami M1 i M2 otrzymane z wykorzystaniem soli azotanowych (III) jako substancji tworzących pory i poddane karbonizacji w atmosferze argonu w temp. 800°C [H13]. Badania próbki adsorbentu oznaczonego jako M1, wykazały, że materiał ten jest jednorodny i cechuje się szerokim spektrum energii pierwotnych miejsc adsorpcyjnych, w którym występują długie wąskie kanałopodobne mikropory [H13]. Dla omawianej próbki wyznaczono bardzo małą w porównaniu do wcześniej opisanych adsorbentów, wartość objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej. Z kolei wyniki analiz uzyskane dla próbki M2 wskazały, iż badany materiał jest niejednorodny, z przeważającą frakcją wysokoenergetycznych miejsc adsorpcyjnych. Zwraçała także uwagę duża wartość objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej w porównaniu do próbki M1 [H13]. Badania te, jak i poprzednie, wykazały ponadto zdecydowaną przewagę metody LBET w porównaniu do innych metod wykorzystywanych w analizie struktury mikroporowatej adsorbentów węglowych na podstawie izoterm adsorpcji par i gazów.

Spośród nowoczesnych adsorbentów, coraz większe zainteresowanie wzbudzają adsorbenty sferyczne, z uwagi na ich wiele zalet oraz duże możliwości wykorzystania między innymi w katalizie i w systemach magazynowania metanu i wodoru. W ramach prowadzonych prac wykonano badania poświęcone ocenie wpływu warunków procesu produkcji adsorbentów sferycznych otrzymanych w jednoetapowym procesie pirolizy parą wodną żywicy polistyrenowo-diwinylbenzenowej na kształtowanie się struktury porowatej i właściwości powierzchniowe wspomnianych materiałów [H14]. W szczególności analizowano na podstawie izoterm adsorpcji azotu, wpływ temperatury aktywacji, czasu aktywacji i szybkości ogrzewania na kształtowanie się struktury mikroporowatej. Ponadto w celu uzyskania i uzupełnienia informacji o morfologii analizowanych adsorbentów, przeprowadzono badania tekstury za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej.

Na podstawie analizy numerycznej izotermy adsorpcji azotu, wyznaczonej dla materiału DW2, stwierdzono, iż w porach badanego adsorbentu tworzą się stosopodobne klasterki cząsteczek adsorbentu o średniej wysokości, a jego powierzchnia jest heterogeniczna [H14]. Wartości objętości pierwszej warstwy zaadsorbowanej były praktycznie identyczne dla

dziesięciu najlepszych dopasowań, co wskazuje na dużą rzetelność wyznaczenia wartości tego parametru. Analiza wykresów dla trzech najlepszych dopasowań i odpowiadających im wykresów rozkładu energii adsorpcji na pierwszej warstwie wskazała, że w analizowanym adsorbencie występuje dominująca wąska frakcja miejsc adsorpcyjnych o wysokiej energii oraz pozostałe frakcje miejsc o mniejszej energii. Ponadto typ najlepiej dopasowanego modelu wskazywał na ograniczenia wzrostu klasterów wynikające z geometrii porów [H14].

Analiza izotermy adsorpcji azotu wyznaczonej dla adsorbentu sferycznego DW4 wykazała z kolei, że badany materiał jest również mikroporowaty, a w jego mikroporach tworzą się rozgałęzione klasterki cząsteczek adsorbentu [H14]. Bardzo ciekawe wnioski nasunęły się po obserwacji szczegółowych wyników otrzymanych dla trzech najlepszych dopasowań, a mianowicie wykresy rozkładu energii dla optymalnego i drugiego w kolejności najlepszego dopasowania modelu LBET do izotermy adsorpcji N₂-DW4 były identyczne, wartości parametrów wysokości klasterów były także jednakowe, a wartości parametrów szerokości porów bardzo zbliżone; identyczne były także wartości parametrów heterogeniczności [H14]. Świadczy to o dużej wiarygodności otrzymanych wyników pomimo niskiego wskaźnika identyfikowalności i zbliżonych wartości dyspersji błędu dopasowania. Różne typy modelu adsorpcji LBET w omawianych dopasowaniach, tj. typ 2 dla wariantu optymalnego i typ 1 dla drugiego w kolejności, wskazują na występowanie w materiale zarówno ograniczeń rozbudowy klasterów cząsteczek adsorbentu warunkowanych rozmiarami mikroporów, jak i wzajemnie blokującego się wzrostu sąsiadujących klasterów [H14].

W przypadku analizy kolejnego adsorbentu sferycznego oznaczonego jako DW10, wykazano że materiał ten jest heterogeniczny i posiada szerokie spektrum energii pierwotnych miejsc adsorpcyjnych, a wartość wskaźnika identyfikowalności i dyspersja błędu dopasowania wskazywały jednoznacznie na dużą wiarygodność otrzymanych wyników [H14]. Wyniki badań uzyskane dla adsorbentu sferycznego DW14 wykazały, że w mikroporach tego materiału tworzyły się średniej wysokości, rozszerzające się klasterki cząsteczek adsorbentu, a objętość pierwszej warstwy adsorpcyjnej osiągnęła wyjątkowo dużą wartość. Ponadto zwracała uwagę także duża rzetelność wyznaczonych parametrów i wykresu rozkładu energii adsorpcji na pierwszej warstwie.

Wyniki otrzymane dla materiałów DW15 i DW20, były bardzo zbliżone do omawianego powyżej adsorbentu DW14 [H14]. W przypadku adsorbentu sferycznego DW16, wykonane analizy wykazały, że badany materiał cechował się dużym stopniem heterogeniczności powierzchni, a w jego mikroporach tworzyły się rozgałęzione klasterki

cząsteczek adsorbentu, przy czym ich wzrost blokowało nakładanie się efektów konkurencyjnej adsorpcji i ograniczeń geometrycznych [H14].

Analiza wyników obliczeń uzyskanych dla izotermy adsorpcji N₂-DW18, wykazała, że analizowany materiał jest mikroporowaty, z dominującymi wysokimi rozszerzającymi mikroporami i dużą wartością objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej [H14]. Wykresy energii adsorpcji dla pierwszej warstwy były identyczne, w przypadku wariantu optymalnego i drugiego w kolejności najlepiej dopasowanego, co biorąc pod uwagę dużą wartość parametru identyfikowalności, identyczne wartości wysokości klasterów cząsteczek adsorbentu oraz porównywalne wartości parametrów objętości pierwszej warstwy adsorpcyjnej i wartości parametrów szerokości klasterów wskazywały na rzetelność otrzymywanych wyników.

Analiza parametrów struktury kolejnego materiału tj. DW11, także przeprowadzona została z dużą wiarygodnością i na jej podstawie stwierdzono, że badany adsorbent oznaczony jako DW11 jest heterogenicznym materiałem mikroporowatym, zawierającym średniej wysokości pory, na co wskazują wartości parametrów α i β [H14]. W analizowanym materiale dominowała bardzo wąska frakcja miejsc o wysokiej energii adsorpcji oraz frakcja miejsc o szerszym spektrum energii, a ograniczenia wzrostu klasterów cząsteczek adsorbentu wynikały z ograniczonej geometrii porów. Dodatkowo dla wszystkich omawianych materiałów w celu uzyskania i uzupełnienia informacji o morfologii powierzchni, przeprowadzono badania z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej.

W ramach prowadzonych badań analizowano także adsorpcję ditlenku węgla w temperaturze zbliżonej do temperatury otoczenia i ciśnieniu do 1,5 MPa na nanoporowatym adsorbencie węglowym otrzymanym z kompozytu węgla i tlenku grafenu [H15]. Izotermy analizowano z wykorzystaniem różnych metod w połączeniu z analizą porowatości i chemii powierzchni oraz ich wpływu na mechanizm procesu adsorpcji. Na podstawie wyników badań stwierdzono, że pomimo tego, iż zarówno objętość i rozmiar mikroporów są głównymi parametrami odpowiedzialnym za przebieg procesu adsorpcji, jednak jak się okazało w przypadku analizowanych specyficznych, co należy podkreślić materiałów chemia powierzchni jest nie mniej ważna dla energetyki procesu adsorpcji i mechanizmów grupowania cząsteczek CO₂ w strukturze porów, a wręcz może mieć dominujący wpływ na mechanizm tego procesu [H15]. Modyfikacja powierzchni nanoporowatego adsorbentu węglowego poprzez dodatek tlenku grafenu, ma widoczny znaczący wpływ na termodynamikę interakcji CO₂ z tą powierzchnią, ale także zależy od wielkości adsorpcji. Otrzymane wyniki mogą sugerować, że zaadsorbowane cząsteczki CO₂, po adsorpcji, utleniają sulfotlenki i sulfony, co powoduje dalsze modyfikowanie właściwości powierzchni

materiału, z punktu widzenia zarówno chemii jak i tekstury [H15]. Wykorzystane w badaniach nanoporowate adsorbenty węglowe okazały się bardzo trudne w analizie z uwagi na wspomniane złożone procesy fizykochemiczne towarzyszące adsorpcji CO₂ na ich powierzchni. Niemniej jednak metoda LBET zastosowana w tych badaniach, była w stanie zidentyfikować złożone zależności oddziaływań cząsteczek adsorbentu z chemicznie skomplikowanymi powierzchniami [H15].

W ramach prowadzonych prac rozwijano również tematykę magazynowania metanu w złożach porowatych materiałów węglowych, pod kątem zasilania pojazdów samochodowych. We wprowadzającym artykule dokonano aktualnej wiedzy na ten temat ze szczególnym zwróceniem uwagi na dobór materiałów węglowych do tych procesów [H16].

W fazie projektowania nowych mikroporowatych materiałów węglowych oraz w procesach optymalizacji i kontroli ich produkcji, istnieje niejednokrotnie konieczność wykonywania wielu pomiarów izoterm adsorpcji różnych substancji na otrzymywanych materiałach, co znacząco zwiększa całkowite koszty i czasochłonność zarówno całego cyklu produkcyjnego jak i fazy przygotowawczej. Opracowana przeze mnie metoda LBET umożliwia nie tylko analizę struktury mikroporowatej, ale jej unikalne właściwości pozwalają także na przewidywanie izoterm adsorpcji różnych substancji w danych warunkach na podstawie wyznaczonej wcześniej izoterm lub kilku izoterm innych substancji oraz parametrów fizycznych adsorbentu i parametrów niezmienniczych modeli LBET. Wspomniana cecha jest szczególnie użyteczna w przemysłowej produkcji adsorbentów węglowych, gdyż na podstawie relatywnie prostego i taniego pomiaru izoterm adsorpcji np. azotu, można za pomocą metody LBET przewidywać izoterm adsorpcji innych substancji na danym materiale, a ponadto specyfika metody LBET umożliwia jednoczesną analizę kilku izoterm adsorpcji różnych substancji, co zwiększa wiarygodność prowadzonych analiz [H17]. W ramach wspomnianych badań zaimplementowane zostało do metody LBET ponadto nowe i oryginalne równanie stanu gazu, umożliwiające nie tylko analizę struktury porowatej na podstawie izoterm gazów, ale także umożliwiające teoretyczne przewidywanie izoterm adsorpcji gazów na podstawie wyznaczonych izoterm adsorpcji par.

Badania jednoczesnej analizy kilku izoterm adsorpcji przeprowadzone zostały z wykorzystaniem metody LBET na podstawie pojedynczych i podwójnych izoterm adsorpcji azotu w 77 K i metanu w 300 K na węglu aktywnym Maxsorb, a otrzymane wyniki porównano z wynikami otrzymanymi za pomocą równania Andersona [H17].

W ramach prowadzonych prac analizowano także możliwość jednoczesnej analizy izoterm czterech adsorbatów tj. azotu, benzenu i czterochlorku węgla w 77 K oraz propanu

w temperaturze 303 K na mikroporowatym węglu aktywnym. przy zarówno założeniu jednorodności, jak i heterogeniczności powierzchni [H18].

Badaniu poddano także strukturę porowatą: węgla aktywnego WV1050 i Norit R1 Extra na podstawie jednoczesnej analizy pojedynczej, dwóch i trzech izoterm adsorpcji ditlenku węgla, metanu i azotu otrzymanych w temperaturze 298 K [H19] oraz węgla Norit RB2 na podstawie jednej, dwóch, trzech i czterech izoterm adsorpcji ditlenku węgla i metanu otrzymanych w temperaturze 273 K i 298 K analizowanych oddzielnie i jednocześnie [H20]. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, iż metoda LBET umożliwia wyznaczenie w sposób wiarygodny parametrów struktury porowatej węgli aktywnych na podstawie izoterm adsorpcji zarówno azotu jak i metanu, a rzetelność otrzymywanych wyników wzrasta wraz z liczbą jednocześnie analizowanych izoterm, pomimo wzrostu liczby wyznaczanych parametrów.

Otrzymane wyniki badań i opracowane narzędzia otwierają nowe możliwości dla technologów w zakresie analizy struktury porowatej adsorbentów węglowych na podstawie izoterm adsorpcji danych substancji, pod kątem adsorpcji konkretnych substancji dla których materiały są przeznaczone, gdyż można na podstawie relatywnie prostych w otrzymywaniu izoterm adsorpcji azotu, benzenu lub argonu przewidywać o wiele bardziej trudne do wyznaczenia izotermę gazów takich jak np. metan czy ditlenek węgla. Dzięki takim możliwościom jakie otwierają opracowane narzędzia można znacznie skrócić i uprościć proces przygotowania produkcji materiałów adsorpcyjnych oraz dobrać odpowiednio warunki procesu wytwarzania, aby uzyskać optymalne właściwości produktu.

Omówiony powyżej cykl badań mający duży potencjał aplikacyjny, wniósł znaczący wkład w rozwój szeroko rozumianej technologii chemicznej, a w szczególności technologii produkcji adsorbentów węglowych oraz badań naukowych z zakresu fizykochemii zjawisk powierzchniowych i metod opisu struktur mikroporowatych. W szczególności wykonane prace badawcze wzbogaciły obszar wiedzy związany z zagadnieniami obejmującymi problematykę oceny wpływu warunków procesowych wytwarzania adsorbentów węglowych na kształtowanie się struktury mikroporowatej, dzięki między innymi wykorzystaniu w analizach zaawansowanej metody LBET.

Przeprowadzone analizy z wykorzystaniem wspomnianej metody, umożliwiły uzyskanie o wiele bardziej szczegółowych informacji na temat tworzącej się w różnych warunkach preparatyki struktury mikroporowatej w porównaniu do powszechnie wykorzystywanych przez technologów i naukowców metod BET i DR, jak i zaawansowanych narzędzi wywodzących się z teorii funkcjonału gęstości tj. metod NLDFT i QSDFT.

Wyniki omawianych badań, mogą z powodzeniem zostać praktycznie wykorzystane w opracowywaniu oraz optymalizacji warunków procesowych wytwarzania adsorbentów, a zastosowane narzędzia otwierają zupełnie nowe możliwości w zakresie komputerowego projektowania i kontroli nowoczesnych procesów produkcji mikroporowatych adsorbentów węglowych oraz procesów prowadzonych z ich udziałem, a także ich optymalizowania z uwzględnieniem aspektów technicznych i ekonomicznych. **Pomimo na razie relatywnie małej cytowalności prac z uwagi, co należy podkreślić, na bardzo złożony aparat matematyczny wykorzystywanych metod, trudną interpretację otrzymanych wyników i wąskie grono odbiorców oraz przede wszystkim brak dotychczas przyjaznego pakietu obliczeniowego dostępnego, np. wraz z urządzeniami pomiarowymi.** Jednak dopiero przeprowadzony cykl badań dał solidne podstawy do finalnego planowanego kroku, a mianowicie do komercjalizacji opracowanych narzędzi poprzez udostępnienie przyjaznego środowiska obliczeniowego wraz z systemem automatycznej interpretacji wyników, co zwiększy popularność metody LBET, jak i wyników badań przedstawionych w niniejszym opracowaniu.

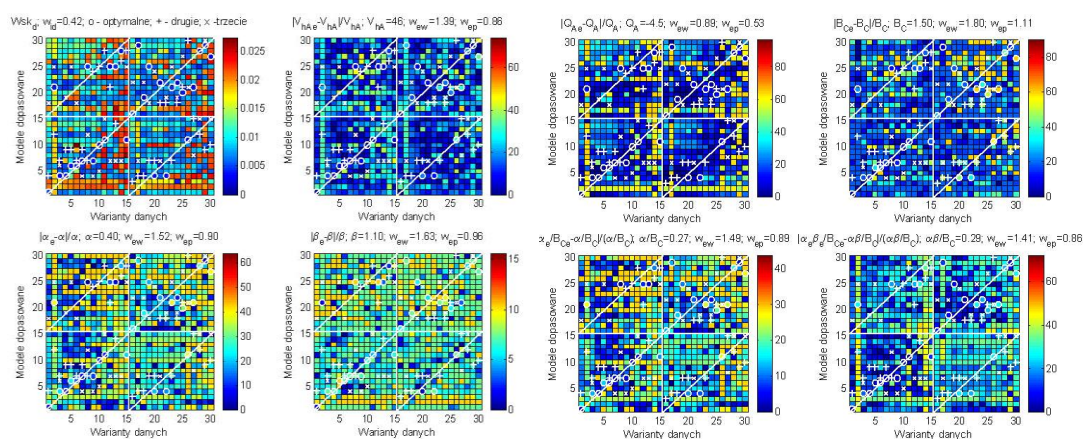
Literatura:

1. R. C. Bansal, J.B. Donnet, R. Stoeckli, Active Carbon, Marcel Dekker, New York (1988).
2. D. Lozano-Castello, J. Alcaniz-Monge, M. A. de la Casa-Lillo, D. Cazorla-Amoros, A. Linares-Solano, Fuel 81 (2002) 1777.
3. K. Kierzek, E. Frąckowiak, G. Lota, G. Gryglewicz, J. Machnikowski, Electrochimica Acta 49 (2004) 515.
4. T. L. Cook, C. Komodromos, D.F. Quinn, S. Ragan, Adsorbent storage for natural gas vehicles w Carbon Materials for Advanced Technologies, s.269-302, red. T.D.Burchell, Pergamon, Amsterdam 1999
5. J. Alcañiz-Monge, D. Cazorla Amorós, A. Linares Solano, Carbon 35 (1997) 1665.
6. P. T. Williams, A. R. Reed, Biomass and Bioenergy 30 (2006) 144.
7. D. Lozano-Castello, M. A. Lillo-Rodenas, D. Cazorla-Amoros, A. Linares-Solano, Carbon 39 (2001) 741.
8. V. Fierro. V. Torné-Fernández. A. Celzard. Micropor. Mesopor. Mater. 101 (2007) 419.
9. J. Sreńscek-Nazzal, B. Michalkiewicz, Polish J. Chem. Technol. 13 (2011) 63.
10. J. Sreńscek-Nazzal, W. Kamińska, B. Michałkiewicz, Z. C. Koren, Ind. Crops. Prod. 47 (2013) 153.
11. D. P. Vargas, L. Giraldo, J. C. Moreno-Piraján, Adsorption 19 (2013) 1075.
12. K. Y. Foo, B. H. Hameed, Chem. Eng. J. 173 (2011) 385.
13. K. Y. Foo, B. H. Hameed, Bioresource Technol. 111 (2012) 425.
14. H. Zhonghua. E. F. Vansant. J. Colloid Interf. Sci. 176 (1995) 422.
15. D. Kalderis, S. Bethanis, P. Paraskeva, E. Diamadopoulos, Bioresource Technol. 99 (2008) 6809.
16. M. Jagtoyen. F. Derbyshire. Carbon 36 (1998) 1085.

4. Omówienie prac prowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej i osiągniętych wyników

W ramach mojej rozprawy doktorskiej obronionej w 2004 roku, opracowałem na bazie sformułowanej wcześniej w zespole naukowym, w którym realizowałem badania, teorii adsorpcji uniBET i opracowanych z moim udziałem modeli adsorpcji na powierzchniach jednorodnych adsorbentów węglowych, nowe modele adsorpcji uwzględniające niejednorodność geometrii porów i jej wpływ na energię adsorpcji oraz opracowałem odpowiednie równania. Rozbudowałem także zestaw zależności pozwalających na odwzorowanie szerszego spektrum kształtów rozkładów energii na powierzchni oraz opracowałem unikalną procedurę wielowariantowej identyfikacji układów adsorpcyjnych i dokonałem także oceny zasadności zastosowania wykładniczego rozkładu pojemności pierwotnych miejsc adsorpcyjnych.

W ramach pracy doktorskiej rozwinąłem także opis formalny współzależności parametrów geometrycznych układu adsorpcyjnego i rozkładu energii pierwotnych miejsc adsorpcyjnych oraz uogólniłem formułę aproksymującą zróżnicowane prawostronnie rozkłady energii rozkładem jednorodnym, a także wprowadziłem szerszej klasy rozkłady energii adsorpcji o zróżnicowanym lewostronnie kształcie. Opracowane przeze mnie modele i procedury poddane zostały przeze mnie kompleksowej weryfikacji poprzez symulacje komputerowe, a jednym z problemów, jaki został rozważany, była ocena jakości identyfikacji parametrów geometrycznych i energetycznych układów adsorpcyjnych. W ramach prowadzonych badań wykonałem ponadto badania numeryczne procedury identyfikacji oraz istotności uproszczeń przyjętych w modelach analitycznych względem dokładniejszych modeli numerycznych. W tych pracach analizowałem wpływ liczby wyznaczanych parametrów układu adsorpcyjnego na jakość identyfikacji i błędy estymacji parametrów struktury porowatej z wykorzystaniem symulowanych izoterm adsorpcji.



Rys. 1. Diagramy ilustrujące trafność i jakość identyfikacji izoterm generowanych modelem numerycznym ($P_{max} = 0,90$, $Q_A = -4,50$, $\alpha = 0,40$, Liczba izoterm = 1).

5. Wykaz innych (nie wchodzących w skład osiągnięć wymienionych w pkt 3)

5.1. Publikacje naukowe w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (15):

1. M. Kwiatkowski^K, *Analiza technicznych i ekologicznych aspektów wykorzystania biomasy do celów energetycznych w Polsce*. **PRZEMYSŁ CHEMICZNY** 5/89, 1-5 (2010). **IF = 0,290**, **MNiSW = 15**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

2. M. Kwiatkowski^K, *Application of the LBET class models to describe the structure of microporous activated carbons on the basis of argon and benzene adsorption isotherms*. **ADSORPTION** 14, 37-53 (2008). **IF = 1,237**, **MNiSW = 25**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

3. M. Kwiatkowski^K, *Computer analyses of new numerical methods for the description of adsorption process and the reliability of identification of microporous structure parameters*. **JOURNAL OF MOLECULAR MODELING** 14, 183-200 (2008). **IF = 2,018**, **MNiSW = 20**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

4. M. Kwiatkowski^K, *Computer analysis of microporous structure by employing the LBET class models with various variants of the adsorption energy distribution in comparison to the classical equations*. **LANGMUIR** 23, 2569-2581 (2007). **IF = 4,009**, **MNiSW = 35**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

5. M. Kwiatkowski^K, *Numerical analysis of nitrogen adsorption isotherms on active carbons by an employment of the new LBET class models*. **JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE** 313, 428-439 (2007). **IF = 2,309**, **MNiSW = 30**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

6. M. Kwiatkowski^K, *Employing the new computer LBET class models with multivariant fitting to the analysis of single and double adsorption isotherms generated by the selected classical equations in different relative pressures*. **JOURNAL OF MATHEMATICAL CHEMISTRY** 42, 815-835 (2007). **IF = 1,057**, **MNiSW = 25**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

7. M. Kwiatkowski^K, *Comparison of the evaluation reliability of microporous structure parameters by employing single and double adsorption isotherms*. **COLLOIDS AND SURFACES A: PHYSICOCHEMICAL AND ENGINEERING ASPECTS** 294, 92-101 (2007). **IF = 1,601**, **MNiSW = 30**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

8. M. Kwiatkowski^K, *Zastosowanie modeli klasy LBET do wyznaczania parametrów struktury mikroporowatej węgla aktywnego na podstawie pojedynczych i podwójnych izoterm adsorpcji azotu*. **PRZEMYSŁ CHEMICZNY** 86/7, 656-662 (2007). **IF = 0,196**, **MNiSW = 15**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

9. M. Kwiatkowski^K, J.T. Duda, J. Milewska-Duda, *Nowy model adsorpcji wielowarstwowej LBETH na powierzchniach heterogenicznych mikroporowatych materiałów węglowych*. **PRZEMYSŁ CHEMICZNY** 86/9, 878-882 (2007). **IF = 0,196**, **MNiSW = 15**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu modelu adsorpcji LBETH, udziale w stworzeniu koncepcji pracy i napisaniu manuskryptu. Ponadto korespondowałem z edytorem i przygotowałem odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

10. M. Kwiatkowski^K, *Application of the LBET class mathematical models to describe of the active carbon microporous structure on the basis of the argon adsorption isotherm*. **POLISH JOURNAL OF ENVIRONMENTAL STUDIES** 15(6a), 107-110 (2006). **IF = 0,353**, **MNiSW = 15**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

11. M. Kwiatkowski^K, *Numerical analysis of the LBET class adsorption models properties with the reliability evaluation of the obtained structure parameters*. **POLISH JOURNAL OF ENVIRONMENTAL STUDIES** 15(6a), 111-116. (2006). **IF = 0,353**, **MNiSW = 15**.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

12. J.T. Duda, J. Milewska-Duda, M. Kwiatkowski^K, *Evaluation of adsorption energy distribution of microporous materials by a multivariate identification*. **APPLIED SURFACE SCIENCE** 252, 570-581 (2005). **IF = 1,263**, **MNiSW = 35**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowywaniu nowych modeli adsorpcji uLBET, zebraniu danych literaturowych, wykonaniu obliczeń oraz rysunków; interpretacji i dyskusji wyników badań, współredagowaniu manuskryptu; korespondowaniu z edytorem i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

13. J.T. Duda, M. Kwiatkowski^K, J. Milewska-Duda, *Computer modeling and analysis of heterogeneous structures of microporous carbonaceous materials*. **JOURNAL OF MOLECULAR MODELING** 11(4-5), 416-430 (2005). **IF = 1,670**, **MNiSW = 20**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w stworzeniu koncepcji pracy, opracowaniu nowych modeli adsorpcji i wykonaniu obliczeń oraz rysunków; interpretacji i dyskusji wyników, współredagowaniu manuskryptu, korespondowaniu z edytorem i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

14. M. Kwiatkowski^K, J. T. Duda, J. Milewska-Duda, *New models for vapour adsorption as a tool in technology and science*. **POLISH JOURNAL OF ENVIRONMENTAL STUDIES** 14(4), 119-122 (2005). **IF = 0,352**, **MNiSW = 15**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w stworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu nowych modeli adsorpcji par, wykonaniu obliczeń i rysunków, interpretacji i dyskusji wyników, napisaniu manuskryptu, korespondowaniu z edytorem i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

15. J. Milewska-Duda, J. T. Duda^K, G. Jodłowski, M. Kwiatkowski, *A model for multilayer adsorption of small molecules in microporous materials*, **LANGMUIR** 16, 7294-7303 (2000). **IF = 3,045**, **MNiSW = 35**.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w opracowaniu nowych modeli adsorpcji na powierzchniach homogenicznych. Mój udział procentowy szacuję na 15%.

5.2. Zgłoszenia patentowe (6):

[P1] Mirosław Kwiatkowski (2016) *System oczyszczania i regulacji strumienia powietrza*. **P.418278** (Polska) Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

[P2] Mirosław Kwiatkowski (2016) *Sposób jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych oraz urządzenie do wysokoefektywnej jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych*. **P.418766** (Polska) Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

[P3] Mirosław Kwiatkowski (2016) *Urządzenie do adsorpcyjnego magazynowania gazu ziemnego*. **P.419140** (Polska) Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

[P4] Mirosław Kwiatkowski (2016) *Kompaktowe urządzenie do adsorpcyjnego magazynowania gazu ziemnego*. **P.419141** (Polska) Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

[P5] Mirosław Kwiatkowski (2017) *Sposób i urządzenie do homogenicznej karbonizacji i aktywacji miękkich materiałów biomasowych*. **P.420456** (Polska) Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

[P6] Mirosław Kwiatkowski (2017) *Nawiewnik z funkcją oczyszczania powietrza*. **P.420735** (Polska) Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

Mój udział procentowy wynosi 100%.

Opis zgłoszeń patentowych

W znanych rozwiązaniach procesów karbonizacji i aktywacji niejednokrotnie występują trudności z utrzymaniem odpowiedniej temperatury procesu i czasu osiągnięcia założonej temperatury oraz odpowiednich warunków odprowadzania produktów gazowych i doprowadzania strumienia gazu obojętnego lub aktywatora. W związku z tym procesy karbonizacji i aktywacji przebiegają z różnymi często niekontrolowanymi szybkościami, mechanizmami i wydajnościami w poszczególnych częściach wsadu. Ponadto karbonizowane i aktywowane surowce w tym szczególnie biomasa, taka jak odpady drzewne oraz skorupy i pestki owoców, cechują się niejednorodną budową, w związku z powyższymi występują problemy z uzyskaniem jednorodnych i powtarzalnych partii produktu końcowego.

Opracowane przeze mnie rozwiązanie wysokoefektywnej jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów organicznych pochodzenia biomasowego, takich jak twarde gatunki drewna, skorupy orzechów, pestki owoców itp. oraz innych materiałów organicznych, takich jak np. węgle kamienne, tworzywa sztuczne, zużyte opony, wykorzystywanych w procesach

produkcji węgla aktywnych umożliwia skuteczne wyeliminowanie wspomnianych problemów zapewniając jednorodną karbonizację i aktywację materiałów o budowie niejednorodnej z dużą efektywnością energetyczną i możliwością otrzymania produktu o jednakowych właściwościach w całej objętości wsadu i w poszczególnych partiach wyrobu [P2].

W ramach prowadzonych prac opracowałem także sposób i urządzenie do homogenicznej karbonizacji i aktywacji miękkich materiałów biomasowych przeznaczone do prowadzenia procesów karbonizacji i aktywacji takich materiałów jak miękkie rodzaje drewna, kolby kukurydzy, łupin, itp. [P5]. Zaproponowane przeze mnie rozwiązanie opiera się na oryginalnej konstrukcji pieca obrotowego umożliwiającego homogeniczną karbonizację i aktywację zarówno fizyczną jak i chemiczną miękkich materiałów pochodzenia organicznego, z dużą efektywnością energetyczną procesu i możliwością uzyskania powtarzalnego produktu finalnego, tj. karbonizatu lub węgla aktywnego o założonych właściwościach fizykochemicznych, strukturze porów jak i właściwościach mechanicznych jednakowych w całej objętości wsadu oraz w kolejnych partiach produktu [P5].

Wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniu społecznemu, w związku z propagacją problemu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, zaprojektowałem także oryginalne urządzenie do oczyszczania strumienia powietrza wentylacyjnego [P1] i oryginalny nawiewnik z funkcją oczyszczania powietrza [P6], wykorzystujące między innymi filtry wykonane z mikroporowatych adsorbentów węglowych. Urządzenia te pozwalają na zapewnienie dopływu odpowiedniej ilości oczyszczonego powietrza w zależności od aktualnego zapotrzebowania do pomieszczenia, przy znaczącej redukcji strat energii wywołanych nadmierną wymianą powietrza.

Z związku z propagacją zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego, za które odpowiedzialny jest w dużej mierze ruch samochodowy opracowałem ponadto dwa unikalne projekty zbiorników do magazynowania gazu ziemnego w złożu mikroporowatych adsorbentów węglowych, z układem redukcji efektów termicznych towarzyszących nieodzownie procesom adsorpcji i desorpcji. Zbiorniki te powinny umożliwić wykorzystanie na szerszą skalę gazu ziemnego do zasilania pojazdów samochodowych, a co za tym powinny przyczynić się do zmniejszenia negatywnych skutków nadmiernego ruchu samochodowego.

Gaz ziemny magazynowany w temperaturze otoczenia i pod ciśnieniem atmosferycznym jest mało atrakcyjny pod względem praktycznego wykorzystania z uwagi na niską gęstość energii i co za tym idzie między innymi bardzo ograniczony zasięg zasilanych nim pojazdów samochodowych. Dlatego praktyczne wykorzystanie tego paliwa uzależnione jest od możliwości zmagazynowania odpowiedniej jego ilości w zbiorniku przy określonej

wymaganej gęstości energii. Temperatura krytyczna metanu wynosi 191 K, dlatego też gaz ten nie może być skraplany przez samo zwiększenie ciśnienia, w związku z tym poszukuje się odpowiednich metod zwiększania gęstości energii tego paliwa. Jedną z najbardziej efektywnych metod magazynowania gazu ziemnego na potrzeby zasilania pojazdów samochodowych jest jego magazynowanie w złożach porowatych adsorbentów węglowych, co związane jest z tym, że w określonych warunkach, pod tym samym ciśnieniem magazynowania objętość gazu ziemnego mieszczącego się w zbiorniku wypełnionym adsorbentem może kilkakrotnie przewyższać objętość gazu w zbiorniku bez adsorbentu.

Główną wadą jednak dotychczas znanych rozwiązań adsorpcyjnego magazynowania gazu ziemnego jest jednak to, iż podczas procesu adsorpcji, tj. podczas napełniania zbiornika wypełnionego adsorbentem, następuje znaczny wzrost temperatury złoża związany z egzotermicznym charakterem procesu oraz małą przewodnością cieplną adsorbentów węglowych. Zjawisko to utrudnia i wydłuża znacznie proces napełniania zbiornika oraz znacznie obniża pojemność adsorpcyjną złoża, tzn. im wyższa jest temperatura złoża adsorbentu, tym mniej metanu zostanie zaadsorbowane. Z kolei podczas użytkowania pojazdu, nie jest możliwe wykorzystanie części zaadsorbowanego gazu, co w konsekwencji zmniejsza rzeczywistą pojemność zbiornika, a co za tym idzie zmniejsza się zasięg pojazdów zasilanych tym paliwem, szczególnie w niskich temperaturach.

Opisane powyżej problemy zostały skutecznie wyeliminowane przez zaproponowane przeze mnie urządzenia do adsorpcyjnego magazynowania gazu ziemnego z unikalnym układem redukcji efektów termicznych [P3], [P4]. Wdrożenie opracowanych zbiorników pozwoli na praktyczne wykorzystanie gazu ziemnego na szerszą skalę do zasilania silników pojazdów, zwiększając konkurencyjność tego paliwa w porównaniu do innych paliw.

5.3. Udzielone licencje i wdrożenia (2):

Na podstawie opracowanych przeze mnie zgłoszeń patentowych pt. *System oczyszczania i regulacji strumienia powietrza*, **P.418278** (2016) oraz pt. *Nawiewnik z funkcją oczyszczania powietrza*. **P.420735** (2017) udzielone zostały przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie odpowiednio licencja nr **5/2017** oraz licencja nr **12/2017** Partnerowi przemysłowemu i aktualnie prowadzone są zaawansowane prace wdrożeniowe, a także przygotowywana jest promocja wprowadzenia produktów na rynek.

Aktualnie prowadzę również działania i rozmowy w kierunku wdrożenia pozostałych opracowanych przeze mnie urządzeń i rozwiązań.

5.4. Pozostałe publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych i krajowych nie znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (29):

1. M. Kwiatkowski^K, M. Ziółkowska, *Application of the clustering-based LBET class adsorption models to the analysis of the microporous structure of silica membranes.* **JOURNAL OF PHYSICS. CONFERENCE SERIES**, 633/012048, 1-6 (2015). **MNiSW = 15.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy i zebraniu danych, wykonaniu obliczeń oraz rysunków; interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu manuskryptu i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje oraz korespondowaniu z edytorem. Mój udział procentowy szacuję na 90%.

3. M. Kwiatkowski^K, *Energy, Economic and ecological problems of waste management.* **ARCHIWUM GOSPODARKI ODPADAMI** 12(4), 40-52 (2010). **MNiSW = 4.**

Mój udział procentowy wynosi 100%.

4. M. Kwiatkowski^K, *Analiza stanu aktualnego i perspektyw rozwoju produkcji oraz wykorzystania biodiesla w Polsce.* **ARCHIWUM GOSPODARKI ODPADAMI I OCHRONY ŚRODOWISKA** 11(3), 13-26 (2009). **MNiSW = 4.**

Mój udział procentowy wynosi 100%.

5. M. Kwiatkowski^K, R. Polak, *Energetyczne wykorzystanie biomasy do celów grzewczych w budownictwie jednorodzinym.* **ARCHIWUM GOSPODARKI ODPADAMI I OCHRONY ŚRODOWISKA** 11(4), 9-22 (2009). **MNiSW = 4.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współstworzeniu koncepcji pracy i napisaniu manuskryptu, korespondowaniu z edytorem i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

6. M. Kwiatkowski^K, *Recykling odpadów komunalnych - analiza wybranych problemów i propozycja nowego rozwiązania bazującego na wspomaganii komputerowym.* **ARCHIWUM GOSPODARKI ODPADAMI I OCHRONY ŚRODOWISKA** 8, 33-42 (2008). **MNiSW = 4.**

Mój udział procentowy wynosi 100%.

7. M. Kwiatkowski^K, S. Wąsik, *Analiza stanu aktualnego i kierunków rozwoju gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce na przykładzie miasta Krakowa.* **ARCHIWUM GOSPODARKI ODPADAMI I OCHRONY ŚRODOWISKA** 10, 1-12 (2008). **MNiSW = 4.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, zebraniu danych literaturowych, wykonaniu rysunków, napisaniu manuskryptu i korespondowaniu z edytorem. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

8. T. Bobrowski, M. Kwiatkowski^K, *Komputerowy system analizy optymalnych kierunków rozwoju energetyki ze źródeł odnawialnych i działań w zakresie efektywnego wykorzystania energii.* **ZESZYTY STN** 15, 45-50 (2008). **MNiSW = 2.**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji całej pracy, opracowaniu podstaw systemu analizy i napisaniu manuskryptu oraz korespondowaniu z edytorem. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

9. M. Kwiatkowski^K, Zastosowanie nowych modeli klasy LBET do opisu struktury mikroporowatej węglowego sita molekularnego na podstawie pojedynczych i podwójnych izoterm adsorpcji benzenu. **KARBO** 52(1), 11-16 (2007). **MNiSW = 5**.
Mój udział procentowy wynosi 100%.
10. M. Kwiatkowski^K, Analysis of selected methods for porous structure description of carbonaceous adsorbents. **ANNALS OF THE POLISH CHEMICAL SOCIETY** 1, 591-594 (2005).
Mój udział procentowy wynosi 100%.
11. M. Kwiatkowski^K, I środkowoeuropejska konferencja biomasy. **BIULETYN INFORMACYJNY PRACOWNIKÓW AGH** 139, 8 (2005).
Mój udział procentowy wynosi 100%.
12. M. Kwiatkowski^K, J. T. Duda, J. Milewska-Duda, Computer analysis of microporous adsorbents with adsorption models of LBET class. **ANNALES UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA. SECTIO AA: CHEMIA** 60, 196-217 (2005).
Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współstworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu podstaw teoretycznych modeli klasy LBET, wykonaniu obliczeń komputerowych oraz rysunków; interpretacji i dyskusji wyników, napisaniu manuskryptu i korespondowaniu z edytorem. Mój udział procentowy szacuję na 60%.
13. J. T. Duda, M. Kwiatkowski^K, J. Milewska-Duda, Numerical study of original mathematical models for adsorption on heterogeneous surfaces of carbonaceous materials. **POLISH JOURNAL OF APPLIED CHEMISTRY** 47(3-4), 93-104 (2004).
Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w stworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu nowych modeli adsorpcji, wykonaniu obliczeń i analiz oraz rysunków; interpretacji i dyskusji wyników, współudziale przy napisaniu manuskryptu, korespondowaniu z edytorem i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 50%.
14. J. T. Duda, M. Kwiatkowski^K, J. Milewska-Duda, Computer analysis of the carbonaceous adsorbents by employing the new thermodynamic adsorption models of LBET class. **ANNALS OF THE POLISH CHEMICAL SOCIETY** 3(3), 1397-1400 (2004).
Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale przy stworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu modeli adsorpcji, wykonaniu obliczeń i rysunków, interpretacji i dyskusji wyników oraz współudziale w napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 50%.
15. J. T. Duda, M. Kwiatkowski^K, J. Milewska-Duda, Numerical study of new thermodynamical LBET models for adsorption on heterogeneous surfaces of carbonaceous materials. **ANNALS OF THE POLISH CHEMICAL SOCIETY** 3(2), 919-922 (2004).
Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale przy stworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu nowych modeli adsorpcji, wykonaniu obliczeń i rysunków, interpretacji i dyskusji wyników oraz współudziale w napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 25%.
16. J. T. Duda, J. Milewska-Duda, M. Kwiatkowski^K, Generalized uniBET model of multilayer adsorption. **ANNALS OF THE POLISH CHEMICAL SOCIETY** 3(3), 1401-1404 (2004).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, napisaniu manuskryptu i korespondowaniu z edytorem. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

17. M. Kwiatkowski^K, *Ecological aspects of solid waste incineration*. **ANNALS OF THE POLISH CHEMICAL SOCIETY**, 3(3), 1156-159 (2004).

Mój udział procentowy wynosi 100%.

18. J. T. Duda, M. Kwiatkowski^K, J. Milewska-Duda, *Identyfikacja układów adsorpcyjnych na podstawie wielowariantowego dopasowania modeli klasy LBET*. **PALIWA I ENERGIA XXI WIEKU**, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH 223-226 (2004).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale przy stworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu nowych modeli adsorpcji, wykonaniu obliczeń i rysunków, interpretacji i dyskusji wyników oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

19. J. T. Duda, J. Milewska-Duda, M. Kwiatkowski^K, *Komputerowe modele heterogenicznej adsorpcji na mikroporowatych materiałach węglowych - modele uLhBET i uLBETH*. **PALIWA I ENERGIA XXI WIEKU**, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 227-231 (2004).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale przy stworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu nowych modeli adsorpcji, wykonaniu obliczeń i rysunków, interpretacji i dyskusji wyników oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

20. J. T. Duda, M. Kwiatkowski^K, J. Milewska-Duda, *Analiza numeryczna i weryfikacja termodynamicznych modeli adsorpcji na powierzchniach heterogenicznych*. **PALIWA I ENERGIA XXI WIEKU**, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 209-215 (2004).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale przy stworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu modeli adsorpcji, wykonaniu obliczeń i rysunków, interpretacji i dyskusji wyników oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

21. J. T. Duda, J. Milewska-Duda, M. Kwiatkowski^K, *Uogólniony matematyczny model adsorpcji wielowarstwowej*. **PALIWA I ENERGIA XXI WIEKU**, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, 217-222 (2004).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale przy stworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu matematycznego modelu adsorpcji oraz udziale w napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

22. M. Kwiatkowski^K, K. Faszczowy, *Wybrane aspekty gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce*. **PALIWA I ENERGIA XXI WIEKU**, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, s. 329-332, (2004).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji całej pracy, zebraniu odpowiednich danych literaturowych, napisaniu manuskryptu i korespondowaniu z edytorem. Mój udział procentowy szacuję na 90%.

23. J. Milewska-Duda, J. T. Duda, M. Kwiatkowski^K, *Numerical study of new mathematical models for heterogeneous adsorption*. **ANNALS OF THE POLISH CHEMICAL SOCIETY**, vol. 2, 3, 1130-1134 (2003).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale przy stworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu nowych numerycznych modeli adsorpcji, wykonaniu obliczeń i rysunków, interpretacji i dyskusji wyników oraz współudziale w napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

24. J. Milewska-Duda, J. T. Duda, M. Kwiatkowski^K, *Modelling of multilayer adsorption in heterogenous micropores*. **ANNALS OF THE POLISH CHEMICAL SOCIETY** s. 90: Śląskie Centrum Wydawnicze (2001).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale przy stworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu nowych modeli adsorpcji w niejednorodnej strukturze mikroporów, wykonaniu obliczeń i rysunków, interpretacji i dyskusji wyników oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

25. A. Guła^K, M. Filipowicz, M. Kwiatkowski, *Rozproszona produkcja energii elektrycznej, Wprowadzenie*. **CZYSTA ENERGIA** 4, 11 (2001).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu rysunków ilustrujących opisywane zagadnienia. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

26. J. T. Duda, J. Milewska-Duda, M. Kwiatkowski^K, *Nowe metody opisu struktur mikroporowatych sorbentów*. **PALIWA I ENERGIA DZIŚ I JUTRO - 2001**, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, 2001, s. 275-280.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale przy stworzeniu koncepcji pracy i opracowaniu metod opisu struktur porowatych, wykonaniu obliczeń i rysunków, interpretacji i dyskusji wyników oraz napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

27. M. Kwiatkowski^K, M. Bachniak, K. Chachaj, J. Lorens, *Efekt cieplarniany i co dalej?* **PALIWA I ENERGIA DZIŚ I JUTRO - 2001**, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, 2001, s. 243-245 (2001).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, zebraniu danych literaturowych i napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

28. A. Guła^K, M. Kwiatkowski, *Zasady zintegrowanego planowania energetycznego*. **GOSPODARKA I POLITYKA ENERGETYCZNA**, str. 31 (1998).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współstworzeniu koncepcji pracy, zebraniu danych literaturowych i napisaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

29. A. Guła^K, Zb. Hanzelka, M. Kwiatkowski, P. Rudzki, *Projekt promocji energooszczędnego oświetlenia w gospodarstwach domowych*. **GOSPODARKA I POLITYKA ENERGETYCZNA**, str. 91 (1998).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w tworzeniu koncepcji pracy i współredagowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 25%

5.5. Rozdziały w książkach (2):

1. M. Ziółkowska^K, M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda, J. T. Duda, *Zastosowanie uniwersalnej teorii adsorpcji (uniBET) wraz z klasą modeli LBET do opisu struktury wybranych materiałów mikroporowatych o przemysłowym zastosowaniu*. Paliwa i energia XXI wieku. **WYDAWNICTWO NAUKOWE "AKAPIT"**, 267-279 (2014).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w stworzeniu koncepcji pracy i zebraniu odpowiednich danych, wykonaniu obliczeń oraz rysunków; interpretacji i dyskusji wyników badań. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

2. M. Kwiatkowski, M. Ziółkowska^K, J. Milewska-Duda, J. T. Duda, *Analiza stosowalności uniwersalnej teorii adsorpcji uniBET do opisu struktury żelu krzemionkowego. SORBENTY MINERALNE: Surowce, Energetyka, Ochrona Środowiska, Nowoczesne Technologie, WYDAWNICTWA AGH*, 269-284 (2013). MNiSW = 4.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu koncepcji pracy, zebraniu odpowiednich danych literaturowych, wykonaniu obliczeń i rysunków; interpretacji oraz dyskusji wyników, napisaniu manuskryptu i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

W ramach umieszczonych w wykazie prac nie wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (wymienionych w pkt 3), prowadziłem następujące badania:

- badania nad opracowaniem nowych modeli adsorpcji na powierzchniach heterogenicznych adsorbentów węglowych oraz badania ich właściwości numerycznych (w ramach rozprawy doktorskiej),
- uzupełniające badania teoretyczne dotyczące właściwości numerycznych modeli adsorpcji klasy LBET, w szczególności skupiając się na ocenie jakości wyznaczania parametrów geometrycznych i energetycznych układów adsorpcyjnych; w ramach wspomnianych prac analizowałem wpływ różnych czynników, w tym uproszczeń przyjętych w analitycznych modelach procesu adsorpcji na jakość identyfikacji i błędy estymacji parametrów struktury porowatej z wykorzystaniem symulowanych komputerowo izoterm adsorpcji,
- badania nad adaptacją klastrowych modeli adsorpcji do analizy membran krzemionkowych i żeli krzemionkowych,
- badania z zakresu energetyki i zrównoważonego rozwoju energetycznego obejmujące zagadnienia technicznych i ekologicznych aspektów wykorzystania biomasy i biopaliw do celów energetycznych w Polsce oraz energetycznego wykorzystania biomasy do celów grzewczych w budownictwie jednorodzinym i analizy optymalnych kierunków rozwoju energetyki ze źródeł odnawialnych oraz działań w zakresie efektywnego wykorzystania energii,
- badania z zakresu gospodarki odpadami komunalnymi, w tym nad możliwością adaptacji modeli skandynawskich i niemieckich zakładających unikanie wytwarzania odpadów i głęboki recykling do warunków polskich,
- badania społecznych uwarunkowań gospodarki odpadami komunalnymi.

5.6. Aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych (72):

1. M. Kwiatkowski, V. Fierro, A. Celzard, *Numerical analysis of the effects of process conditions on the porous structure development of adsorbents*. **The World Conference on Carbon: Common fundamentals, remarkably versatile applications: Carbon 2016** 10-15 July 2016, P2-82.
2. M. Kwiatkowski, V. Fierro, A. Celzard, *Computer studies of the influence of activation time on the microporous structure of carbonaceous adsorbents prepared by activation of lignin with alkali hydroxides*. **The World Conference on Carbon: Common fundamentals, remarkably versatile applications: Carbon 2016** 10-15 July 2016, P2-83.
3. A. Błaszczuk, M. Kwiatkowski, *Analiza koncepcji zrównoważonego transportu dla miasta Krakowa*. **Konferencja "Innowacyjne pomysły młodych naukowców: nauka-startup-przemysł"**, 30-31 maja 2016, Kraków. Wyd. IGSMiE PAN, 2016, s. 119-120.
4. M. Wójcik, M. Kwiatkowski, *Inteligentny pojemnik do recyklingu z układem automatycznego sterowania*. **Konferencja "Innowacyjne pomysły młodych naukowców: nauka-startup-przemysł"**, 30-31 maja 2016, Kraków. Wydawnictwo IGSMiE PAN, 2016, s. 122-123.
5. R. Małota, *Koncepcja wykorzystania ciepła odpadowego z Elektrowni Jaworzno III*. **Konferencja "Innowacyjne pomysły młodych naukowców: nauka-startup-przemysł"**, 30-31 maja 2016, Kraków. Wydawnictwo IGSMiE PAN, 2016, s. 124.
6. M. Kwiatkowski, *Numerical analysis of the effect of the kind of activating agent and the impregnation ratio on the parameters of the microporous structure of the active carbons*. **4th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences IC-MSquare 2015**, 5-8 June 2015, Mykonos, Greece.
7. M. Kwiatkowski, M. Ziółkowska, *Application of the clustering-based LBET class adsorption models to the analysis of the microporous structure of silica membranes*. **4th International Conference on Mathematical Modeling in Physical Sciences IC-MSquare 2015**, 5-8 June 2015, Mykonos, Greece.
8. M. Kwiatkowski, M. Ziółkowska, *Application of the LBET class adsorption models to the analysis of the effect of production process conditions on the structural properties of the active carbons*. **Carbon 2015, Innovation with carbon materials: The annual world conference on Carbon**, 12-17 July 2015, Dresden, Germany, s. 38.
9. M. Kwiatkowski, M. Ziółkowska, *Application of the clustering-based models with the original fluid state model to an analysis of high temperature gaseous adsorption isotherms on the carbonaceous materials*. **Carbon 2015, Innovation with carbon materials: The annual world conference on Carbon**, 12-17 July 2015, Dresden, Germany, s. 47.
10. M. Kwiatkowski, M. Ziółkowska, *The analysis of the methane storage process in active carbons bed*. **Problemy niedropol'zovaniâ: meždunarodnyj forum-konkurs molodyh učenyh**, 22-24 aprilâ 2015 Sankt-Peterburg, Russia, s. 41-43. ISBN 978-5-94211-723-8.
11. M. Kwiatkowski, M. Ziółkowska, *Application of the new adsorption models with the fast multivariant identification procedure as a tool for analysing the microporous structure on the basis of carbon dioxide and methane adsorption isotherms*. **ISSHAC-9, Surface Heterogeneity Effects in Adsorption and Catalysis on Solids**, 17-22 July 2015, Wrocław, Poland, s. 205.

12. M. Kwiatkowski, E. Broniek, *Application of the fast multivariant identification procedure with the LBET class adsorption models to analyze influence of production process conditions on obtained microporous of active carbons.* **XII Polish-Ukrainian Symposium; 2nd COMPOSITUM conference: Theoretical and experimental studies of interfacial phenomena and their technological applications**, Kielce, Poland, August 24-28, 2010, p. 83.
13. M. Kwiatkowski, M. Wiśniewski, A. Pacholczyk, *Application of the fast multivariant fitting procedure of the LBET class adsorption models to analysis of carbon foams.* **XII Polish-Ukrainian Symposium; 2nd COMPOSITUM conference: Theoretical and experimental studies of interfacial phenomena and their technological applications**, Kielce, Poland, August 24-28, 2010, p. 84.
14. M. Kwiatkowski, E. Broniek, *Computer analysis of the porous structure of carbonaceous materials for application in environmental protection.* **USPOL 2010: US Poland workshop & summer school: nanoscale phenomena in materials and at interfaces**, Cracow, Poland, June 6-10, 2010, p. 97.
15. M. Kwiatkowski, M. Wiśniewski, G. Rychlicki, *Numerical analysis of the new spherical carbon adsorbents obtained from ion-exchange resins.* **USPOL 2010: US Poland workshop & summer school: nanoscale phenomena in materials and at interfaces**, Cracow, Poland, June 6-10, 2010, p. 96.
16. J. T. Duda, M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda, *Application of original clustering based adsorption models to structure analysis of microporous carbonaceous materials.* **ISSHAC-7: Seventh International Symposium: Surface Heterogeneity Effects In Adsorption And Catalysis On Solids**, Kazimierz Dolny, July 5-11, Poland, 2009, p. 121-122.
17. M. Kwiatkowski, *Computer analysis of relative pressure range influence on the adsorption systems identification quality by employing the new numerical procedure.* **22nd Conference of the European Colloid and Interface Society**, Cracow, Poland, August 31-September 5, 2008 and **COST D43 Workshop: Colloid and surface science for nanotechnology**, Cracow, Poland, September 2-4, 2008, p. 483.
18. M. Kwiatkowski, J. Pawłowicz, *Computer optimization of the microporous structure of activated carbon fibres for the solar adsorption refrigeration systems.* **22nd Conference of the European Colloid and Interface Society**, Cracow, Poland, August 31-September 5, 2008 and **COST D43 Workshop: Colloid and surface science for nanotechnology**, Cracow, Poland, September 2-4, 2008, p. 484.
19. M. Kwiatkowski, J. Pawłowicz, *An analysis of the effectiveness of the consumption of energy in a single-family building in the context of the protection of natural environment and possibilities for the application of alternative eco-friendly energy sources.* **The Second International Environmental Best Practices Conference and AGFES Educational Workshop**, Kraków, Poland, September 14-18, 2009, p. 128.
20. M. Kwiatkowski, J. Pawłowicz, *An analysis of the current condition of the production and utilization of biodiesel fuel in Poland in comparison to other countries.* **The Second International Environmental Best Practices Conference and AGFES Educational Workshop**, Kraków, Poland, September 14-18, 2009, Poland, p. 127.
21. M. Kwiatkowski, R. Polak, *An analysis of the energy, technical and environmental aspects of utilizing biomass for the purposes of producing energy in local thermal power stations.* **The Second International Environmental Best Practices Conference and AGFES Educational Workshop**, Kraków, Poland, September 14-18, 2009, p. 126.

22. M. Kwiatkowski, *Analiza ekologicznych i energetycznych aspektów gospodarki odpadami komunalnymi*, 51 Zjazd PTChem i SITPChem. **51 Zjazd PTChem i SITPChem**, Opole, 7-11 września 2008, s. 227.
23. M. Kwiatkowski, *Komputerowa analiza wpływu warunków procesu aktywacji na uzyskane parametry struktury mikroporowatej węgla aktywnych z wykorzystaniem szybkiej wielowariantowej numerycznej procedury identyfikacji*. **51 Zjazd PTChem i SITPChem**, Opole, 7-11 września 2008, s. 193.
24. M. Kwiatkowski, *Application of the LBET class models to analysis of the influence of production process conditions on obtained microporous structure parameters*. **XI Polish-Ukrainian symposium: Theoretical and experimental studies of interfacial phenomena and their technological applications**, Krasnobród - Zamość, Poland, August 22-26, 2007, s. 74.
25. M. Kwiatkowski, *Computer analysis of activated carbon fibres microporous structure by employing the new numerical adsorption models with multivariant fitting technique*. **XI Polish-Ukrainian symposium: Theoretical and experimental studies of interfacial phenomena and their technological applications**, Krasnobród - Zamość, Poland, August 22-26, 2007, p. 75.
26. M. Kwiatkowski, *Komputerowa analiza struktury porowatej monolitów węgla aktywnych i aktywowanych włókien węglowych*. **XXXIX Ogólnopolskie Kolokwium Katalityczne**, Kraków IKiFP PAN, 14-16 marca 2007, s. 316.
27. M. Kwiatkowski, *Wykorzystanie matematycznych modeli LBET do analizy wpływu warunków procesu aktywacji na parametry struktury mikroporowatej adsorbentów węglowych*. **XXXIX Ogólnopolskie Kolokwium Katalityczne**, Kraków IKiFP PAN, 14-16 marca 2007, s. 317.
28. M. Kwiatkowski, *Numerical analysis of the LBET class adsorption models properties with the reliability evaluation of the obtained structure parameters*. **1st International seminar on Application of catalysis in environmental protection; 11th International seminar on Catalytic DeNOx**, Lublin, Poland, August 31 - September 2, 2006, p. 109-111, P-6.
29. M. Kwiatkowski, *Application of the LBET class mathematical models to describe of the active carbon microporous structure on the basis of the argon adsorption isotherm*. **1st International seminar on Application of catalysis in environmental protection; 11th International seminar on Catalytic DeNOx**, Lublin, Poland, August 31 - September 02, 2006, p. 106-108, P-5.
30. M. Kwiatkowski, *Komputerowa analiza struktur heterogenicznych mikroporowatych materiałów węglowych za pomocą numerycznych modeli adsorpcji klasy uLBET i LBET z wykorzystaniem metody wielowariantowego dopasowywania*. **XXXVIII Ogólnopolskie Kolokwium Katalityczne**, Kraków, 15-18 marca 2006, s. 304-305.
31. M. Kwiatkowski, *Ocena zasadności wykorzystania pojedynczych i podwójnych izoterm adsorpcji do wyznaczania parametrów struktur mikroporowatych adsorbentów za pomocą nowych modeli adsorpcji*. **XXXVIII OKK**, Kraków, 15-18 marca 2006, s. 306-307.
32. M. Kwiatkowski, *Computer analysis of the properties of the new numerical adsorption models with original graphical visualization of the obtained results*. **ISSHAC-6 - Sixth International Symposium: Surface Heterogeneity effects in Adsorption and Catalysis on solids**, Zakopane, Poland, August 28th - September 2nd, 2006, p. 181-183.

33. M. Kwiatkowski, *Application of the new LBET class models to the characterisation of microporous structure*. **ISSHAC-6 - Sixth International Symposium: Surface Heterogeneity effects in Adsorption and Catalysis on solids**, Zakopane, Poland, August 28th – September 2nd, 2006, p. 184-186.
34. M. Kwiatkowski, *Computer analysis of nitrogen adsorption isotherms on active carbons by an employment of the new LBET class models*. **Modeling & Design of Molecular Materials 2006**, Wrocław, Poland, September 10-15, 2006, p. P29.
35. J. T. Duda, L. Jagiełło, M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda, *A clustering based approach to adsorption modeling*. **Modeling & Design of Molecular Materials 2006**, Wrocław, 10-15 September 2006, s. P28.
36. M. Kwiatkowski, J. T. Duda, J. Milewska-Duda, *New models for vapour adsorption as a tool in technology and science*. **5th International Conference Catalysis and Adsorption in Fuels Processing and Environmental Protection**, Kudowa Zdrój, Poland, 14-17 September 2005,
37. M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda, J. T. Duda, *Zastosowanie grupy nowych matematycznych modeli klasy LBET z wielowariantowym dopasowywaniem do opisu struktur heterogenicznych mikroporowatych węgla aktywnych*. **XLVIII Zjazd PTChem i SITPChem**, Poznań, 18-22 września 2005, s. S5-W6.
38. M. Kwiatkowski, J. T. Duda, J. Milewska-Duda, *Porównanie jakości oszacowania parametrów struktury mikroporowatych adsorbentów węglowych z wykorzystaniem pojedynczych i podwójnych izoterm adsorpcji*. **XLVIII Zjazd PTChem i SITPChem**, Poznań, 18-22 września 2005, s. S5-P49.
39. M. Kwiatkowski, T. Gągor, *Analiza wybranych metod opisu struktur mikroporowatych adsorbentów węglowych*. **XLVIII Zjazd PTChem i SITPChem**, Poznań 18-22 września 2005, s. S5-P23.
40. M. Kwiatkowski, T. Gągor, *Wykorzystanie pakietu MATLAB w obliczeniach z zakresu chemii fizycznej i fizykochemii zjawisk powierzchniowych*. **XLVIII Zjazd PTChem i SITPChem**, Poznań, 18-22 września 2005, s. S5-P24.
41. M. Kwiatkowski, M. Jeż, *Ekologiczne, techniczne i ekonomiczne aspekty gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce*. **XLVIII Zjazd PTChem i SITPChem**, Poznań, 18-22 września 2005, s. S8-P77.
42. M. Kwiatkowski, M. Jeż, *Przegląd nowoczesnych materiałów porowatych wykorzystywanych w procesach adsorpcji oraz porównanie ich właściwości fizykochemicznych i użytkowych*. **XLVIII Zjazd PTChem i SITPChem**, Poznań, 18-22 września 2005, s. S9-P3.
43. M. Kwiatkowski, J. T. Duda, J. Milewska-Duda, *Computer analysis of microporous adsorbents with adsorption models of LBET class*. **Interfacial Phenomena, Surfactants and Dispersed Systems**, Lublin, Poland, April, 12-14, 2005.
44. J. T. Duda, J. Milewska-Duda, M. Kwiatkowski, *An approach to quantitative description of irregular microporous structures*. **Interfacial Phenomena, Surfactants and Dispersed Systems**, Lublin, Poland, April, 12-14, 2005.
45. M. Kwiatkowski, J. T. Duda, J. Milewska-Duda, *Analiza struktury materiałów mikroporowatych z wykorzystaniem nowych modeli adsorpcji klasy LBET*. **XXXVII OKK**, Kraków, 15 - 18 marca 2005, IkiFP PAN, 2005, s. 298.

46. A. Figórski, E. Guła, A. Guła, M. Kwiatkowski, *Polish experience with municipal biomass energy project development*. **Vykurovanie 2005**, Tatranské Matliare, Slovakia, 7-11 marca 2005, s. 171-176.
47. J. T. Duda, M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda, *Evaluation of adsorption energy distribution by a multivariant identification*. **ISSHAC-5: Surface Heterogeneity effects in Adsorption and Catalysis on Solids: fifth International Symposium**, Gdańsk, Poland, August 30 - September 3, 2004, p. 155-156.
48. J. T. Duda, M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda, *Numerical study of new mathematical models for adsorption on heterogeneous surface of carbonaceous materials*. **Modelling and design of molecular materials**, Wrocław, Poland, September 16-20, 2004, P14.
49. J. T. Duda, J. Milewska-Duda, M. Kwiatkowski, *Numerical study of original mathematical models for adsorption on heterogeneous surface of carbonaceous materials*. **New carbon and composite materials 2004, Progress in preparation, investigation and applications: 3rd international conference**, Ustroń-Zawodzie, Poland, May 9-12, 2004, P. I. 10.
50. J. T. Duda, M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda, *Numerical study of new thermodynamical the LBET models for adsorption on heterogeneous surfaces of carbonaceous materials*. **XLVII Zjazd PTChem i SITPChem**, Wrocław, 12-17 września 2004, T. 2, s. 870.
51. J. T. Duda, M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda, *Komputerowa analiza adsorbentów węglowych z wykorzystaniem nowych termodynamicznych modeli adsorpcji klasy LBET*. **XLVII Zjazd PTChem i SITPChem**, Wrocław, 12-17 września 2004, T. 3, s. 1314.
52. J. T. Duda, J. Milewska-Duda, M. Kwiatkowski, *Uogólniony model adsorpcji wielowarstwowej – uniBET*. **XLVII Zjazd PTChem i SITPChem**, Wrocław, 12-17 września 2004, T. 3, s. 1315.
53. M. Kwiatkowski, M. Bożek, *Ecological aspects of solid waste incineration*. **XLVII Zjazd PTChem i SITPChem**, Wrocław, 12-17 września 2004, T. 3, s. 1034.
54. M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda, *Aktualne trendy w produkcji adsorbentów węglowych*. **XLVII Zjazd PTChem i SITPChem**, Wrocław, 12-17 września 2004, T. 3, s. 1340.
55. M. Kwiatkowski, M. Tomczuk, *Analiza efektów ekologicznych związanych z kompleksową gospodarką odpadami komunalnymi i ich recyklingiem*. **XLVII Zjazd PTChem i SITPChem** Wrocław, 12-17 wrzesień 2004, T. 3, s. 1063.
56. J. Milewska-Duda, J. T. Duda, M. Kwiatkowski, *Komputerowa analiza struktury mikroporowatych materiałów węglowych z wykorzystaniem modelu adsorpcji wielowarstwowej – LBETH*. **XLVI Zjazd PTChem i SITPChem**, Lublin, 15-18 września 2003, T. 2, s. 787.
57. J. Milewska-Duda, J. T. Duda, M. Kwiatkowski, *Wpływ energetycznej heterogeniczności powierzchni na możliwości wyznaczenia jej parametrów geometrycznych metodami adsorpcyjnymi*. **XLVI XLVI Zjazd naukowy PTChem i SITPChem**, Lublin, 15-18 września 2003, T. 2, s. 726.
58. J. Milewska-Duda, J. T. Duda, M. Kwiatkowski, *Analiza porównawcza wybranych modeli termodynamicznych opisu struktur mikroporowatych materiałów węglowych*. **XLVI Zjazd naukowy PTChem i SITPChem**, Lublin, 15-18 września 2003, T. 2, s. 800.

59. J. Milewska-Duda, J. T. Duda, M. Kwiatkowski, *Nowy model opisu heterogenicznych struktur mikroporowatych adsorbentów węglowych*. **XLV Zjazd naukowy PTChem**, Kraków, 9-13 września 2002, T. 1, s. 350.
60. M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda, J. T. Duda, *Analiza porównawcza wybranych metod opisu adsorpcji na powierzchniach heterogenicznych*. **XLV Zjazd naukowy PTChem**, Kraków 9-13 września 2002, T. 1, s. 392.
61. M. Kwiatkowski, J. Milewska-Duda, J. T. Duda, *Metody opisu struktury mikroporowatych węgla aktywnych: przegląd i analiza porównawcza*. **XLV Zjazd naukowy PTChem**, Kraków, 9-13 września 2002, T. 1, s. 393.
62. J. Milewska-Duda, J.T. Duda, M. Kwiatkowski, *Model opisu struktur heterogenicznych adsorbentów mikroporowatych*. **Spotkanie Sekcji Polskiego Towarzystwa Chemicznego „Fizykochemia zjawisk międzyfazowych”**, Lublin, UMCS, 25-26 października 2002, s. 40.
63. J. Milewska-Duda, J. T. Duda, M. Kwiatkowski, *A new model for heterogeneous adsorption on microporous adsorbents*. **ISSHAC-4, Fourth International Symposium: Effects of Surface Heterogeneity in Adsorption and Catalysis on Solids**, Krakow, Poland, August 27-31, 2001, p. 127-128.
64. J. Milewska-Duda, J. T. Duda, M. Kwiatkowski, *Modelling of multilayer adsorption in heterogenous micropores*. **XLIV Zjazd PTChem i SITPChem**, Katowice, 9-13 września 2001, s. S7-K5.
65. A. Guła, M. Filipowicz, M. Kwiatkowski, *Rozproszona produkcja energii elektrycznej: wprowadzenie*. **Rozproszone źródła energii: źródła finansowania inwestycji energooszczędnych**, Szczyrk, 24-26 października 2001, s. 1-5.
66. M. Kwiatkowski, A. Uszakoww, A. Raźniak, D. Klikowicz, *Przegląd i ocena efektywności systemów chłodzenia w komputerach z wykorzystaniem badań termowizyjnych*. **Paliwa i energia dziś i jutro**, Kraków, 12-13 czerwca 2001, s. 223-224.
67. M. Kwiatkowski, M. Bachniak, K. Chachaj, J. Lorens, *Efekt cieplarniany – i co dalej?* **Paliwa i energia dziś i jutro**, Kraków, 12-13 czerwca 2001, s. 243-245.
68. M. Kwiatkowski, *Komputerowe metody opisu struktur porowatych sorbentów węglowych*, **Węgiel, sorbenty i wyroby węglowe 2000**. Kraków, 15-16 czerwiec 2000, s. 142-143.
69. M. Kwiatkowski, *Komputerowe metody opisu struktury porowatych ciał stałych*. **Jubileuszowy Zjazd PTChem i SITPChem**, Łódź 10-15 września 2000, s. 60.
70. A. Guła, M. Kwiatkowski, *Polityka energetyczna Polski a ochrona środowiska przez poszanowanie energii*. **Tychy – energia – oszczędność**, Tychy, 6-7 marca 2000, s. 1-17.
71. A. Guła, M. Kwiatkowski, *Badania potencjału i możliwości obniżenia zużycia energii w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej*. **Paliwa i energia - dzisiaj i jutro**, Kraków, 24-25 czerwca 1999, s. P.18.
72. M. Kwiatkowski, K. Altman, W. Acela, U. Babiarez, R. Brotkiewicz, G. Ćwikłak, K. Dreja, T. Laszczyk, M. Miska, A. Rymarz, R. Zając, *Energia dla przyszłych pokoleń - odnawialne źródła energii*. **Paliwa i energia - dzisiaj i jutro**, Kraków, 24-25 czerwca 1999, s. P.29.

5.7. Kierowanie projektami badawczymi oraz udział w takich projektach (34):

- 2015** **Współwykonawca w projekcie międzynarodowym** KIC InnoEnergy "MINERVE" "Management of Intermittent & Nuclear Electricity by High Efficiency Electrochemical Reactor for the Valorization of CO₂ in flexible Energies". Partnerzy: GDF Suez (obecnie Engie, Francja), Solvay (Bruksela, Belgia), CEA (Grenoble Francja), WEiP AGH Kraków, KIC Innoenergy.
- 1999 - 2017** **Główny wykonawca i wykonawca badań statutowych (16)**, AGH Kraków
- 1999 - 2011** **Główny wykonawca** badań własnych (12), AGH Kraków
- 2002 - 2004** **Główny wykonawca** projektu badawczego nr 4T09B03022, pt. *Modelowanie heterogenicznych struktur mikroporowatych adsorbentów węglowych*.
- 2002** **Udział w programie międzynarodowym** Unii Europejskiej TEMPUS IB_JEP-14326, AGH Kraków, Partnerzy: Polska, Dania, Hiszpania i Portugalia.
- 1999** **Współwykonawca** projektu pt. *Racjonalizacja użytkowania energii na przykładzie wybranego budynku AGH – diagnoza stanu oraz propozycja zmian. Grant Uczelniany Zamawiany (GUZ 99')* AGH Kraków.
- 1999** **Współwykonawca w projekcie międzynarodowym i współautor raportu końcowego**, pt. *Ecocampus a "Practice-What-You-Preach"*, Contract N° XVII STR 1006 96 Fr). Kontraktor: CENBG University of Bordeaux 1, Partnerzy: Danish Technical University (Dania), Technical Educational Institute of Kavala (Grecja), University of Mines and Metallurgy of Krakow (Polska), University of Coimbra (Portugalia), Konsultanci: Aquitainergie and EOL (Francja), Olof Granlund Oy (Finlandia), IPTC S.A. (Rumunia).
- 1998** **Współwykonawca materiałów edukacyjnych w projekcie międzynarodowym USAID**, tj. dwóch rozdziałów monografii, pt. *Gospodarka i polityka energetyczna, przygotowanych dla samorządów przez Polską Sieć Energie Cites na zlecenie United States Agency for International Development* (Stany Zjednoczone).

5.8. Wnioskowane projekty badawcze (5) i ich ocena:

- 2007 Konkurs 33 NCN N N519 1600 33**: *Nowe komputerowe modele adsorpcji jako narzędzia badawcze w nauce, technologii i technice adsorpcyjnej*. Ocena: **bardzo dobry/wyróżniający się**, decyzja: niefinansowany.
- 2007 Konkurs 34 NCN N N205 018734**: *Komputerowa analiza i optymalizacja wpływu warunków procesu produkcji adsorbentów węglowych na parametry otrzymywanej struktury mikroporowatej*. Ocena: **bardzo dobry/wyróżniający się**, decyzja: niefinansowany.
- 2008 Konkurs 35 N N209 274435**: *Komputerowa analiza i optymalizacja struktury porowatej adsorbentów węglowych*. Ocena: **bardzo dobry**, decyzja: niefinansowany.
- 2008 Konkurs 36 NCN N N209 169136**: *Komputerowa analiza i optymalizacja wpływu warunków procesu karbonizacji i aktywacji na parametry struktury porowatej otrzymywanych adsorbentów węglowych*. Ocena: **bardzo dobry/wyróżniający się**, decyzja: niefinansowany.
- 2010 Konkurs 39 NCN N N204 506139**: *Analiza numeryczna wybranych metod opisu struktur mikroporowatych adsorbentów węglowych, pod kątem wiarygodności i użyteczności uzyskiwanych informacji w projektowaniu procesów i technologii adsorpcyjnych*. Ocena: **bardzo dobry/wyróżniający się**, decyzja: niefinansowany.

5.9. Nagrody za działalność naukową (8):

Nagrody Indywidualne Rektora Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, **za osiągnięcia naukowe: III stopnia**, 2013, **II stopnia**, 2012, **I stopnia**, 2010, **I stopnia**, 2009, **I stopnia**, 2008, **III stopnia**, 2007, **II stopnia**, 2006, **III stopnia**, 2005.

6. Zaproszona recenzja pracy doktorskiej dla zagranicznej Uczelni (1):

2016 Zaproszona recenzja rozprawy doktorskiej Hanny Rutti pt. *Utilisation of industrial by-products in water treatment. Carbon and silicate based materials as adsorbents for metals and sulphate removal*. Promotor: Profesor Ulla Lassi, Faculty of Science, **University of Oulu** (Finlandia).

7. Recenzja artykułów w czasopismach międzynarodowych (55) i krajowych (10):

1. **Adsorption**: 2012(1).
2. **Chemical Engineering Journal**: 2007(1), 2008(1), 2009(1), 2014(2), 2015(1), 2016(1).
3. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**: 2015(1).
4. **Colloid and Interface Science**: 2007(2), 2009(1), 2016(1).
5. **Desalination and Water Treatment**: 2016(1).
6. **Environmental Processes**: 2015(1), 2016(2), 2017(1).
7. **Energy Technology**: 2016(1).
8. **International Journal of Chemical Reactor Engineering**: 2009(1).
9. **International Journal of Hydrogen Energy**: 2017(2).
10. **Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering**: 2016(1).
11. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**: 2017(1).
12. **Journal of International Journal of Computational and Theoretical Chemistry**: 2017(1).
13. **Journal of Environmental Chemical Engineering**: 2016(5), 2017(7).
14. **Journal of Physical Chemistry**: 2007(1).
15. **Journal of Saudi Chemical Society**: 2017(1).
16. **Microporous and Mesoporous Materials**: 2011(1), 2017 (2).
17. **Nanoscience & Nanotechnology Asia**: 2017(1).
18. **Land Degradation & Development**: 2016(1).
19. **The Open Waste Management Journal**: 2016(1).
20. **Langmuir**: 2015(1).
21. **Spring International Conference on Material Sciences and Technology**: 2017(8).
22. **Applied Clay Science**: 2016 (1).
23. **Energia i Paliwa**: 2015 (4).
24. **Zeszyty Studenckiego Towarzystwa Naukowego AGH** (6).

8. Współpraca z ośrodkami naukowymi w kraju (4) i za granicą (16):

1. Department of Chemistry, **The City College of New York** (Stany Zjednoczone)
Prof. Teresa Bandosz i dr Mykola Seredych: publikacja **H15**.
2. **Consiglio Nazionale Interuniversitario di Scienze Fisiche della Materia** (Włochy)
i Dipartimento di Fisica, **Università della Calabria** (Włochy)
dr Alfonso Policicchio: publikacja **H15**.
3. Institut Jean Lamour, **Université de Lorraine** (Francja)
Prof. Alain Celzard i dr Vanessa Fierro: publikacja **H9** i udziały w konferencji zagranicznej 5.6: 1 i 2.
4. Faculty of Science, **University of Oulu** (Finlandia)
Prof. Ulla Lassi i dr Hanna Rutti: recenzja rozprawy doktorskiej Hanny Rutti pt. *Utilisation of industrial by-products in water treatment. Carbon and silicate based materials as adsorbents for metals and sulphate removal*. Promotor Prof. Ulla Lassi.
5. School of Chemical Engineering, **Universiti Sains Malaysia** (Malezja)
Prof. Bassim H. Hameed: wysłany do czasopisma manuskrypt publikacji.
6. Department of Environmental and Natural Resources Engineering, **Technological and Educational Institute of Crete** (Grecja)
dr Dimitrios Kalderis: publikacja **H6**.
7. Department of Environmental Engineering, **Technical University of Crete** (Grecja)
Prof. Evan Diamadopoulos: publikacja **H6**.
8. Department of Agricultural Management, **Islamic Azad University** (Iran)
dr Hamidreza Alipour: organizacja cyklu konferencji naukowych.
9. **Athens Institute for Education and Research** (Grecja)
Dyrektor dr Gregory T. Papanikos: organizacja cyklu konferencji naukowych.
10. Centre d'études nucléaires de Bordeaux-Gradignan, **University of Bordeaux** (Francja)
Prof. Jacques Roturier, Prof. Philippe Faucher: projekt ECOCAMPUS.
11. **Aquitainergie c/o Conseil Régional d'Aquitaine**, Bordeaux (Francja)
Erik Loot: projekt ECOCAMPUS.
12. Department of Buildings and Energy, **Technical University of Denmark** (Dania)
Søren Gabriel i Jørgen Nørgård: projekt ECOCAMPUS.
13. **Olof Granlund Oy** (Finlandia)
Tuomas Laine: projekt ECOCAMPUS.

14. Alternative energy forms and heat transfer laboratory, **Technical Educational Institute of Kavala** (Grecja)
Eleni Apostolidou: projekt ECOCAMPUS.
15. Deptment of Electrotechnical Engineering, **University of Coimbra** (Portugalia)
Prof. Amalio Almeida: projekt ECOCAMPUS.
16. Wydział Chemii, **Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu** (Polska)
Prof. Gerhard Rychlicki, dr Marek Wiśniewski i dr Agnieszka Pacholczyk: publikacje **H13** i **H14** oraz udziały w konferencjach 5.6: 13, 15.
17. Wydział Chemiczny, **Politechnika Wroclawska** (Polska)
dr Elżbieta Broniek: publikacje **H5**, **H7** i **H10** oraz udziały w konferencjach 5.6. 12, 14.
18. Instytut Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska, **Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie** (Polska)
Prof. Beata Michalkiewicz i dr Joanna Sreńscek-Nazzal: publikacja **H11**.
19. Wydział Zarządzania, **Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie** (Polska)
Prof. Jan Tadeusz Duda: publikacje **H17**, **H18**, **H19** i **H20** oraz 5.1: 9, 12-15; 5.4: 12-16, 18-21, 23, 24, 26; 5.5.: 1, 2 i udziały w konferencjach 5.6: 16, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 48, 49-54, 57-65, 69.
20. Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, **Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie** (Polska)
Prof. dr hab. Zbigniew Hanzelka: projekt GUZ i publikacja 5.2: 29.

9. Staże w krajowych ośrodkach naukowych i akademickich (5):

- 2011** **Wydział Chemiczny Politechniki Wrocławskiej.** Tematyka stażu: *Preparatyka węgla aktywnych z materiałów odpadowych pochodzenia biomasowego.*
- 2010** **Wydział Chemiczny Politechniki Wrocławskiej.** Tematyka stażu: *Preparatyka węgla aktywnych z materiałów biomasowych i węgla kamiennych i brunatnych.*
- 2009** **Wydział Chemiczny Politechniki Wrocławskiej.** Tematyka stażu: *Preparatyka adsorbentów węglowych z materiałów pochodzenia roślinnego.*
- 2010** **Wydział Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego.** Tematyka stazu: *Analiza struktury porowatej materiałów węglowych z wykorzystaniem metod adsorpcyjnych i termoprogramowanej desorpcji.*
- 2009** **Wydział Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.** Tematyka stażu: *Metody otrzymywania porowatych materiałów węglowych oraz badań ich struktury na podstawie izoterm adsorpcji oraz skaningowej mikroskopii elektronowej.*

10. Dorobek organizacyjny, dydaktyczny i popularyzatorski

10.1. Udział w komitetach organizacyjnych i naukowych międzynarodowych (18) oraz krajowych konferencji naukowych (17):

- 2018** **The 7th Conference on Nanomaterials**, 13-15 January 2018, Sanya, China (członek komitetu organizacyjnego).
- 2018** **The 4th International Conference on Surface and Interface of Materials**, 13-15 January 2018, Sanya, China (członek komitetu organizacyjnego).
- 2017** **The 8th International Conference on Advances in Physics**, 24-26 September 2017, Suzhou, China (członek komitetu organizacyjnego).
- 2017** **The 4th International Conference on Advanced Composite Materials**, 20-22 July 2017, Guilin, China (członek komitetu organizacyjnego).
- 2017** **The International Conference on New Materials and Applications**, 20-22 July 2017, Guilin, China (członek komitetu organizacyjnego).
- 2017** **The 9th International Conference on Environmental Pollution and Public Health** 16-18 June 2017, Hangzhou, China (członek komitetu organizacyjnego).
- 2017** **The 4th Annual International Conference on Engineering**, 19-22 June 2017, Athens, Greece (członek komitetu naukowego i organizacyjnego).
- 2017** **The 2nd Annual International Conference on Applied Engineering and Applied Science**, 19-22 June 2017, Athens, Greece (członek komitetu naukowego i organizacyjnego).
- 2017** **The 5th Annual International Conference on Physics**, 17-20 July 2017, Athens, Greece (członek komitetu naukowego i organizacyjnego).
- 2017** **The 5th Annual International Conference on Chemistry**, 17-20 July 2017, Athens, Greece (członek komitetu naukowego i organizacyjnego).
- 2017** **The 13th Annual International Conference on Information Technology & Computer Science**, 15-18 May 2017, Athens, Greece (członek komitetu naukowego i organizacyjnego).
- 2017** **The 10th International Conference on Economics and Management**, 10 May 2017, Rasht, Iran, Islamic Azad University, International Center of Academic Comm. and CGU University (członek komitetu naukowego i organizacyjnego).
- 2017** **The Spring World Congress on Engineering and Technology**, 18-20 April 2017, Chengdu, China (członek komitetu organizacyjnego).
- 2017** **The 9th International Conference on Economics and Management**, 13 January 2017, Warsaw Poland, Islamic Azad University (Member of Scientific and Organizational Committee).
- 2017** **The 3rd International Conference on Surface and Interface of Materials**, 3-5 January 2017, Bangkok, Thailand (członek komitetu organizacyjnego).
- 2016** **The 2nd International Conference on Polymer Physics and Chemistry**, 1-3 December 2016, Sanya, China (członek komitetu organizacyjnego).
- 2016** **The 8th International Conference on Economics and Management**, 28-29 September 2016, Sirjan Branch, Iran, Islamic Azad University (członek komitetu naukowego i organizacyjnego).

- 2016** **The 7th International Conference on Economics and Management & 6th International Conference on Engineering Sciences and Art**, 30 January 2016, Sweden, Dalarna University, Islamic Azad University, International Center of Academic Comm. and Claremont Graduate University (członek komitetu naukowego i organizacyjnego).
- 1999** **Międzynarodowa konferencja naukowa, Paliwa i energia - dzisiaj i jutro**, Kraków, 24-25 czerwca 1999 (członek komitetu organizacyjnego).
- 2015** **52 Konferencja Studenckich Kół Naukowych**, 8 maja 2015 r.
- 2014** **51 Konferencja Studenckich Kół Naukowych**, 7 maja 2014 r.
- 2013** **50 Konferencja Studenckich Kół Naukowych**, 9 i 16 maja 2013 r.
- 1999 - 2012 Sesje Studenckich Kół naukowych AGH (13).**

10.2. Udział o komitetach redakcyjnych czasopism międzynarodowych (4):

Bulletin of Trends in Chemical Sciences, Scibay Publications Pvt Ltd, India.

International Journal of Computational and Theoretical Chemistry, Science Publishing Group New York, USA.

Material Science and Engineering with Advanced Research, Verizona Publisher Limited 71-75, Shelton Street, Covent Garden, London.

Journal of Integrated Technologies, Elyns Publishing Group 26 foxtail LN, NJ 08852, USA.

10.3. Osiągnięcia dydaktyczne w zakresie popularyzacji nauki wśród studentów:

W 1999 r. **założyłem Koło Naukowe GREEN ENERGY, pierwsze działające koło naukowe studentów na Wydziale Energetyki i Paliw AGH**. Od początku sprawuję także opiekę naukową i organizacyjną nad Kołem GREEN ENERGY oraz opiekę naukową nad referatami przygotowywanymi przez studentów w ramach działalności Koła, czego efektem jest do grudnia 2016 r. aż **120 referatów** wygłaszanych na Studenckich Konferencjach i Sesjach Naukowych AGH.

Referaty prezentowane przez Członków Koła, przygotowane pod moją opieką wielokrotnie zajmowały pierwsze miejsca i były wygłaszane na Sesji Laureatów oraz publikowane w Zeszytach Studenckiego Towarzystwa Naukowego AGH. Członkowie Koła wraz ze mną brali także aktywny udział w wielu konferencjach krajowych i międzynarodowych.

Moja praca w zakresie opieki nad kołem naukowym *GREEN ENERGY* została **wyróżniona zarówno przez Władze Rektorskie, jak i Komisje Akredytacyjne** które wizytowały Wydział Energetyki i Paliw AGH.

10.4. Opieka naukowa nad studentami w ramach prac magisterskich i inżynierskich oraz działalności koła naukowego (224):

2005 - 2017 Promotorstwo 54 prac magisterskich.

1999 - 2017 Promotorstwo 50 prac inżynierskich.

1999 - 2017 Opieka naukowa nad ponad **120** referatami prezentowanymi na Sesjach i konferencjach Studenckich Kół Naukowych AGH.

10.5. Otrzymane nagrody i wyróżnienia za działalność dydaktyczną i organizacyjną (4):

2015 Nagroda Indywidualna III stopnia Rektora AGH, za osiągnięcia dydaktyczne w zakresie opieki nad Kołem Naukowym GREEN ENERGY.

2006 Dyplom Uznania Rektora AGH, za zaangażowanie i pracę na rzecz studenckiego ruchu naukowego w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

2005 Nagroda Indywidualna Rektora AGH, za osiągnięcia organizacyjne.

2003 Dyplom Uznania Rektora AGH, za inspirację i twórczy wkład pracy, które przyczyniają się do rozkwitu studenckiego ruchu naukowego w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

10.6. Opieka naukowa nad doktoratem w charakterze promotora pomocniczego (1):

2014 Promotor pomocniczy rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdy Ziółkowskiej, pt. *Porównanie klastrowego modelu adsorpcji i teorii funkcjonalów gęstości, jako narzędzi do opisu i identyfikacji struktur mikroporowatych.*

Promotor Prof. dr hab. inż. Janina Milewska-Duda, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw.

10.7. Prowadzone zajęcia dydaktyczne (6):

Technologie informacyjne (L), kier. Technologia Chemiczna, WEiP AGH.

Komputerowe metody obliczeniowe i analizy danych (L), Technologia Chemiczna, WEiP AGH.

Ćwiczenia audytoryjne z chemii (C), kier. Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, WZ AGH.

Nowe Technologie Energetyczne (W, P), kier. Energetyka, WEiP AGH.

Zarządzanie w przedsiębiorstwach i systemach energetycznych (W, P, C), kier. Energetyka, WEiP AGH.

Działalność przedsiębiorstwa paliwowo-energetycznego (W,P,K), Technologia chemiczna, WEiP AGH.

Gdzie: W - wykład, L - laboratorium, C - ćwiczenia, P - projekt, K - konwersatorium.

11. Plany badawcze na przyszłość:

W ramach przyszłych prac badawczych planuję skoncentrować się na następujących zagadnieniach:

- dalszych pracach badawczo-konstrukcyjnych z wykorzystaniem między innymi symulacji komputerowych nad systemami oczyszczania i regulacji strumienia powietrza wykorzystującymi między innymi zaawansowane filtry węglowe i wdrożeniami opracowanych rozwiązań,
- pracami badawczo-konstrukcyjnymi nad systemem autonomicznego mikroklimatu dla pomieszczeń mieszkalnych i użyteczności publicznej oraz wdrożeniem opracowanego rozwiązania,
- opracowaniem we współpracy z innymi ośrodkami naukowymi i partnerami przemysłowymi efektywnych filtrów i membran do oczyszczania strumieni gazowych i wdrożeniami opracowanych rozwiązań,
- dalszymi pracami badawczo-konstrukcyjnymi nad zbiornikami do adsorpcyjnego magazynowania gazu ziemnego na potrzeby zasilania pojazdów samochodowych oraz budową prototypu wspólnie z partnerami naukowymi i przemysłowymi,
- opracowaniem we współpracy z innymi ośrodkami naukowymi metody wytwarzania monolitów aktywowanych materiałów węglowych dedykowanych do procesów magazynowania gazu ziemnego,
- dalszymi badaniami nad wpływem metody otrzymywania adsorbentów węglowych na kształtowanie się ich struktury porowatej i właściwości powierzchniowych,
- opracowaniem przyjaznego środowiska obliczeniowego wykorzystującego metody BET, DR, DFT oraz LBET wraz z systemem automatycznej interpretacji wyników,
- oraz w dalszej perspektywie opracowaniem wspólnie z partnerem przemysłowym prototypów urządzeń do wysokoefektywnej jednorodnej karbonizacji i aktywacji materiałów pochodzenia biomasowego i ich badaniami.

W ramach przyszłej działalności planuję także zorganizowanie międzynarodowej sieci naukowo-badawczej obejmującej zarówno polskie jak i zagraniczne jednostki badawcze oraz partnerów przemysłowych, celem której będzie pozyskiwanie środków finansowych i prowadzenie badań, finalnym efektem których będzie prowadzenie prac aplikacyjnych i wdrożeniowych.

Kraków, dnia 15 maja 2017 r.

Miroslaw Kwiatkowski
Miroslaw Kwiatkowski