

Dr inż. Grzegorz Makomaski

Politechnika Warszawska Filia w Płocku

Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii

Zakład Tworzyw Sztucznych

ul. Łukasiewicza 17

09-400 Płock

Załącznik 2: Autoreferat wraz z osiągnięciami związanymi z działalnością
naukowo-badawczą, dydaktyczną i organizacyjną
w języku polskim

**Utylizacja odpadów tworzyw polimerowych w środowisku
bitumu węglowego do otrzymywania materiałów porowatych**

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4. Wskazanie osiągnięcia stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego	3
5. Wykaz prac naukowych wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.....	4
6. Okres do czasu uzyskania stopnia doktora nauk technicznych	6
7. Okres po uzyskaniu stopnia doktora – prace nad tematem stanowiącym przedmiot rozprawy habilitacyjnej	7
7.1. Kompozycje pakowo-polimerowe zawierające odpady tworzyw polimerowych.....	9
7.2. Porowate materiały węglowe z kompozycji pakowo-polimerowych zawierające odpady tworzyw polimerowych	13
7.3. Podsumowanie	19
8. Pozostałe prace naukowo-badawcze prowadzone po uzyskaniu stopnia doktora.....	21
8.1. Współrealizacja projektu badawczego z Narodowego Centrum Nauki	21
8.2. Adsorbenty węglowe z bitumów naftowych modyfikowanych odpadami tworzyw polimerowych.....	21
8.3. Badania regeneracji sorbentów mineralnych	22
8.4. Modyfikacja asfaltów naftowych związkami wielkocząsteczkowymi.....	22
8.5. Prace badawcze dotyczące poliolefin i wosków poliolefinowych	22
9. Podsumowanie działalności naukowo-badawczej po uzyskaniu stopnia doktora.....	23
10. Inne osiągnięcia związane z działalnością naukowo-badawczą	24
10.1. Niepublikowane prace naukowo-badawcze	24
10.2. Współpraca międzynarodowa i krajowa	25
10.3. Recenzje publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych	26
10.4. Nagrody za działalność naukowo-badawczą.....	26
10.5. Popularyzacja nauki	26
11. Działalność dydaktyczna i organizacyjna	27

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko: **Grzegorz Makomaski**
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej:

Magister inżynier – 2007, Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii,
Tytuł pracy dyplomowej: Badanie właściwości fizykochemicznych i ciągliwości asfaltów oraz asfaltów modyfikowanych,
Promotor: prof. dr hab. inż. Janusz Zieliński

Doktor nauk technicznych – 2011, Politechnika Wrocławska, Wydział Chemiczny,
Tytuł rozprawy doktorskiej: Otrzymywanie i właściwości sorbentów węglowych z kompozycji pakowo-polimerowych
Promotor: prof. dr hab. inż. Janusz Zieliński

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

- **Listopad 2007 – kwiecień 2011 – Asystent**: Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, Zakład Tworzyw Sztucznych,
- **Od maja 2011 – Adiunkt**: Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, Zakład Tworzyw Sztucznych.

4. Wskazanie osiągnięcia stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego:

Osiągnięciem naukowym wynikającym 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) jest jednotematyczny cykl 9 publikacji zatytułowany:

Utylizacja odpadów tworzyw polimerowych w środowisku bitumu węglowego do otrzymywania materiałów porowatych

5. Wykaz prac naukowych wchodzących w skład osiągnięcia naukowego:

Publikacje stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego oznaczyłem symbolami od H1 do H9.

Impact Factor jednotematycznego cyklu publikacji wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej według listy *Journal Citation Reports* – **10,610**

Sumaryczny Impact Factor – **16,013**

Indeks Hirscha według bazy Web of Science i Scopus – **6**

Liczba cytowani:

– według bazy Web of Science – **65**

– według bazy Scopus – **68**

Liczba punktów MNiSW jednotematycznego cyklu publikacji wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej – **170**

Sumaryczna liczba punktów MNiSW – **403**

H1. Grzegorz Makomaski, Wiesława Ciesińska, Janusz Zieliński, 2012, *Thermal properties of pitch-polymer compositions and derived activated carbons*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 109, nr 2, 767-772, DOI 10.1007/s10973-012-2373-8. (**IF=1,982, pktMNiSW=25**).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu artykułu, opracowaniu przeglądu literaturowego, wykonaniu wszystkich badań, opracowaniu i interpretacji wyników badań analizy termicznej kompozycji pakowo-polimerowych oraz adsorbentów węglowych, interpretacji wyników badań struktury porowatej adsorbentów węglowych, napisaniu i zredagowaniu artykułu. Mój udział procentowy szacuję na **60%**.

H2. Grzegorz Makomaski, Wiesława Ciesińska, Janusz Zieliński, 2012, *Zastosowanie odpadów poli(tereftalanu etylenu) lub żywicy fenolowo-formaldehydowej do otrzymywania węgla aktywnych*, Polimery, 57, nr 9, 635-639, DOI: dx.doi.org/10.14314/polimery.2012.635. (**IF=0,470, pktMNiSW=10**).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu artykułu, opracowaniu przeglądu literaturowego, wykonaniu wszystkich badań, opracowaniu i interpretacji wyników badań właściwości sorpcyjnych oraz struktury porowatej adsorbentów węglowych, napisaniu i zredagowaniu artykułu. Byłem autorem do korespondencji. Mój udział procentowy szacuję na **65%**.

H3. Grzegorz Makomaski, 2015, *Study on the structure of pitch-polymer compositions by fluorescence microscope*, Colloid and Polymer Science, 293, 297-301, DOI: 10.1007/s00396-014-3413-7. (**IF=1,890, pktMNiSW=25**).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przygotowaniu publikacji od pomysłu, poprzez wykonanie, opracowanie i interpretację wszystkich wyników badań, aż do napisania i zredagowania artykułu. Mój udział stanowi **100%**.

H4. Grzegorz Makomaski, Janusz Zieliński, Marcin Zdziarski, 2015, *Wpływ wybranych parametrów karbonizacji i aktywacji na właściwości sorpcyjne adsorbentów węglowych z kompozycji pakowo-polimerowych*, Przemysł Chemiczny, 94, nr 5, 694-697, DOI: 10.15199/62.2015.5.6. (**IF=0,367, pktMNiSW=15**).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu artykułu, opracowania przeglądu literaturowego, wykonaniu badań właściwości sorpcyjnych adsorbentów węglowych, opracowaniu i interpretacji wyników badań właściwości fizykochemicznych kompozycji pakowo-polimerowych oraz właściwości sorpcyjnych adsorbentów węglowych, napisaniu i zredagowaniu artykułu. Byłem autorem do korespondencji. Mój udział procentowy szacuję na **65%**.

H5. Grzegorz Makomaski, Janusz Zieliński, 2016, *Wykorzystanie adsorbentów węglowych z kompozycji pakowo-polimerowych do oczyszczania ścieków*, Przemysł Chemiczny, 95, nr 1, 150-152, DOI: 10.15199/62.2016.1.28. (**IF=0,385, pktMNiSW=15**).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu artykułu, opracowaniu przeglądu literaturowego, wykonaniu wszystkich badań, opracowaniu i interpretacji wyników badań właściwości kompozycji pakowo-polimerowych, właściwości i struktury porowatej adsorbentów węglowych oraz oczyszczania ścieków przemysłowych, napisaniu i zredagowaniu artykułu. Byłem autorem do korespondencji. Mój udział procentowy szacuję na **80%**.

H6. Grzegorz Makomaski, 2016, *Wytwarzanie materiałów porowatych z bitumów węglowych modyfikowanych odpadami tworzyw sztucznych*, Przemysł Chemiczny, 95, nr 7, 1378-1380, DOI: 10.15199/62.2016.7.19. (**IF=0,385, pktMNiSW=15**).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przygotowaniu publikacji od pomysłu, aż do napisania i zredagowania artykułu. Mój udział stanowi **100%**.

H7. Grzegorz Makomaski, Janusz Zieliński, 2017, *Thermal properties of group components of the pitch-PET compositions*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 130, nr 1, 329-334, DOI: 10.1007/s10973-017-6310-8. (**IF=2,209**, **pktMNiSW=25**).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu artykułu, opracowaniu przeglądu literaturowego, wykonaniu wszystkich badań, opracowaniu i interpretacji wyników badań właściwości i budowy kompozycji pakowo-polimerowych oraz ich składników grupowych, napisaniu i zredagowaniu artykułu. Byłem autorem do korespondencji. Mój udział procentowy szacuję na **80%**.

H8. Grzegorz Makomaski, 2018, *Porous structure and thermal properties of carbon adsorbents from pitch-polymer compositions*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 133, nr 3, 1345-1352, DOI: 10.1007/s10973-018-7209-8. (**IF=2,209** (za 2017 r.), **pktMNiSW=25**).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przygotowaniu publikacji od pomysłu, poprzez wykonanie, opracowanie i interpretację wszystkich wyników badań, aż do napisania i zredagowania artykułu. Mój udział stanowi **100%**.

H9. Grzegorz Makomaski, Janusz Zieliński, 2018, *Waste poly(methylene methacrylate) as precursor for activated carbon*, Polimery, 63, nr 11-12, 821-824, DOI: dx.doi.org/10.14314/polimery.2018.11.10. (**IF=0,713** (za 2017 r.), **pktMNiSW=15**).

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu artykułu, opracowaniu przeglądu literaturowego, wykonaniu wszystkich badań, opracowaniu i interpretacji wyników badań właściwości kompozycji pakowo-polimerowych, właściwości sorpcyjnych i struktury porowatej adsorbentów węglowych, napisaniu i zredagowaniu artykułu. Byłem autorem do korespondencji. Mój udział procentowy szacuję na **80%**.

6. Okres do czasu uzyskania stopnia doktora nauk technicznych

Moje zainteresowania zagadnieniami związanymi z chemią zrodziły się już w szkole średniej. Zostały pogłębione i ukierunkowane podczas studiów na kierunku Technologia Chemiczna na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej w Płocku, a zainteresowania badawczo-naukowe rozwijałem w Płockim Naukowym Kole Chemików. Studia ukończyłem w 2007 roku uzyskując tytuł magistra inżyniera w zakresie technologii chemii organicznej. Praca dyplomowa pt. „Badania właściwości fizykochemicznych i ciągliwości asfaltów oraz asfaltów modyfikowanych”, wykonana pod kierunkiem prof. dr

hab. inż. Janusza Zielińskiego, została wyróżniona nagrodą stopnia I w Konkursie o Nagrodę Prezesa PKN ORLEN S.A. Wyniki badań przedstawione w pracy dyplomowej zostały opublikowane w publikacji pt. „Ocena przydatności ciągliwości do badania reologicznych właściwości asfaltów drogowych” (Przemysł Chemiczny 2009, 88, nr 1, s. 73-76).

Pracę naukową na stanowisku asystenta rozpocząłem bezpośrednio po studiach w Zakładzie Tworzyw Sztucznych Politechniki Warszawskiej w Płocku. Od chwili zatrudnienia zajmowałem się zagadnieniami dotyczącymi wykorzystania kompozycji pakowo-polimerowych do otrzymywania sorbentów mineralno-węglowych i węglowych, w ramach realizacji zadania „Sorbenty mineralno-węglowe z zastosowaniem kompozycji pakowo-polimerowych” projektu pt. „Chemia perspektywicznych procesów i produktów konwersji węgla” (PBZ-MEiN-2/2/2006). Za cykl prac naukowo-badawczych o powyższej tematyce, w 2010 roku otrzymałem zespołową nagrodę Rektora Politechniki Warszawskiej stopnia I za osiągnięcia naukowe w latach 2008-2009.

W 2011 roku uzyskałem stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie technologia chemiczna nadany przez Radę Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej, na podstawie rozprawy pt. „Otrzymywanie i właściwości sorbentów węglowych z kompozycji pakowo-polimerowych”. Promotorem pracy był prof. dr hab. inż. Janusz Zieliński. Prace badawcze, mające charakter badań rozpoznawczych, związane z tematyką pracy doktorskiej wskazały na możliwość otrzymywania sorbentów węglowych z kompozycji pakowo-polimerowych zawierających polimery syntetyczne z grup poliestrów i fenoplastów. Za cykl prac w tej tematyce, w 2012 roku otrzymałem zespołową nagrodę Rektora Politechniki Warszawskiej stopnia I za osiągnięcia naukowe w latach 2010-2011.

7. Okres po uzyskaniu stopnia doktora – prace nad tematem stanowiącym przedmiot rozprawy habilitacyjnej (omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania)

***Utylizacja odpadów tworzyw polimerowych w środowisku
bitumu węglowego do otrzymywania materiałów porowatych***

Moje dotychczasowe prace badawcze, zebrane w formie jednotematycznego cyklu publikacji dotyczą oceny możliwości wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł surowcowych, jakim są kompozycje pakowo-polimerowe, zawierające uciążliwe dla środowiska odpady tworzyw polimerowych, do otrzymywania mikro- i mezoporowatych materiałów węglowych. Podjęta problematyka stanowi ważną z utylitarnego i ekologicznego punktu widzenia tematykę badawczą wykorzystania mało użytecznych odpadów tworzyw polimerowych do

wytwarzania porowatych materiałów węglowych, które dzięki odpowiednim właściwościom sorpcyjnym i strukturze porowatej mogą znaleźć zastosowanie, np. do oczyszczania ścieków rafineryjno-petrochemicznych. Ponadto podjęta problematyka dotyczy kompleksowej oceny właściwości sorpcyjnych oraz tekstury porowatej adsorbentów węglowych uzyskanych z kompozycji pakowo-polimerowych w zakresie mikro- i mezoporowatości. Jednocześnie istotnym z poznawczego punktu widzenia było znalezienie korelacji pomiędzy warunkami preparatyki (ilość i rodzaj składników kompozycji, parametry i sposób otrzymywania kompozycji oraz materiałów porowatych) a właściwościami i parametrami strukturalnymi uzyskanych adsorbentów węglowych. W tym zakresie doniesień literaturowych jest jak dotąd niewiele.

Tworzywa polimerowe uznawane są obecnie za jedną z ważnych przyczyn zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Względy technologiczne, ekologiczne i ekonomiczne powodują konieczność poszukiwania efektywnych metod ich utylizacji. Konieczność rozwiązywania tych problemów narzucają także przepisy prawne. Naturalna degradacja odpadów tworzyw polimerowych poprzez składowanie jest najmniej ekologiczną i ekonomiczną metodą ich utylizacji, a przy tym długotrwałą. Podobnie, spalanie bez odzysku energii uznaje się za mało racjonalne. Interesujące z poznawczego i utylitarnego punktu widzenia jest wykorzystanie odpadów tworzyw polimerowych jako surowców do wytwarzania materiałów porowatych na drodze obróbki termiczno-chemicznej.

Porowate materiały węglowe, zwłaszcza takie jak węgiel aktywny, znane są i stosowane od wielu lat. Ze względu na dobrą wytrzymałość mechaniczną, dobrze rozwiniętą powierzchnię właściwą, możliwość regeneracji i wielokrotnego użycia oraz dobre zdolności sorpcyjne zarówno z fazy gazowej, jak i z fazy ciekłej, porowate materiały węglowe znalazły szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu, w ochronie środowiska, w medycynie i w życiu codziennym. Tradycyjnie stosowanymi surowcami do produkcji porowatych materiałów węglowych są: drewno, węgiel kamienny, węgiel brunatny, łupiny orzechów oraz torf. Technologia adsorpcyjna daje możliwość wykorzystania polimerów syntetycznych jako surowców do otrzymywania porowatych materiałów węglowych. Przeprowadziłem szereg badań z wieloma odmianami polimerów, m.in. poliolefinami, poliamidami, poliestrami nasyconymi i nienasyconymi, a także z innymi, w celu otrzymania z nich porowatych materiałów węglowych. Wybrane wyniki tych badań zostały opublikowane w publikacji pt.: „*Preparation of sorbents from selected polymers*” (Polish Journal of Chemical Technology 2011, 13, nr 1, 51-54). Z tego okresu badawczego wylistowałem odpady tych polimerów, tj.

odpady poli(tereftalanu etylenu) (PET), żywicy fenolowo-formaldehydowej (PF) oraz poli(metakrylanu metylu) (PMMA), które stanowiły podstawę do dalszych badań. Wytypowane odpady polimerowe należą do grupy tworzyw polarnych, zawierających heteroatom tlenu, a jednocześnie różniących się budową makrocząsteczek, właściwościami fizykochemicznymi i zachowaniem się w wysokich temperaturach.

Uzyskanie dobrych adsorbentów węglowych uwarunkowane jest m.in. dużą liczbą koksowania surowca, jego odpowiednią postacią fizyczną i powtarzalnością właściwości. Odpady tworzyw polimerowych w większości przypadków uniemożliwiają uzyskanie tych wymagań. Dlatego za celowe uznałem sporządzanie mieszanin odpadów tworzyw polimerowych z substancjami bitumicznymi (np. pakiem węglowym), powodując m.in. zwiększenie pozostałości po wysokotemperaturowym procesie karbonizacji.

7.1. Kompozycje pakowo-polimerowe zawierające odpady tworzyw polimerowych

Pak węglowy odznacza się dobrymi właściwościami użytkowymi, np. dużą pozostałością po procesie pirolizy. Ze względu na obecność w paku węglowym kancerogennych węglowodorów aromatycznych istnieje potrzeba jego modyfikacji do materiału bezpiecznego dla środowiska naturalnego. Prace badawcze nad otrzymywaniem modyfikowanych substancji bitumicznych pochodzenia węglowego, prowadzone od wielu lat w Zakładzie Tworzyw Sztucznych Politechniki Warszawskiej w Płocku doprowadziły do opracowania metody zmniejszającej stopień kancerogenności paku węglowego. Modyfikacja paku węglowego polimerami wpływa również w znaczący sposób na skład grupowy bitumu i jego właściwości. Wielkość i kierunek zmian zależą od budowy chemicznej modyfikatora polimerowego oraz jego ilości. Budowa chemiczna jest bezpośrednim czynnikiem określającym właściwości każdego ze składników kompozycji bitumiczno-polimerowych, a jednocześnie warunkuje możliwość tworzenia się określonej struktury danej kompozycji, od której z kolei uzależnione są jej właściwości.

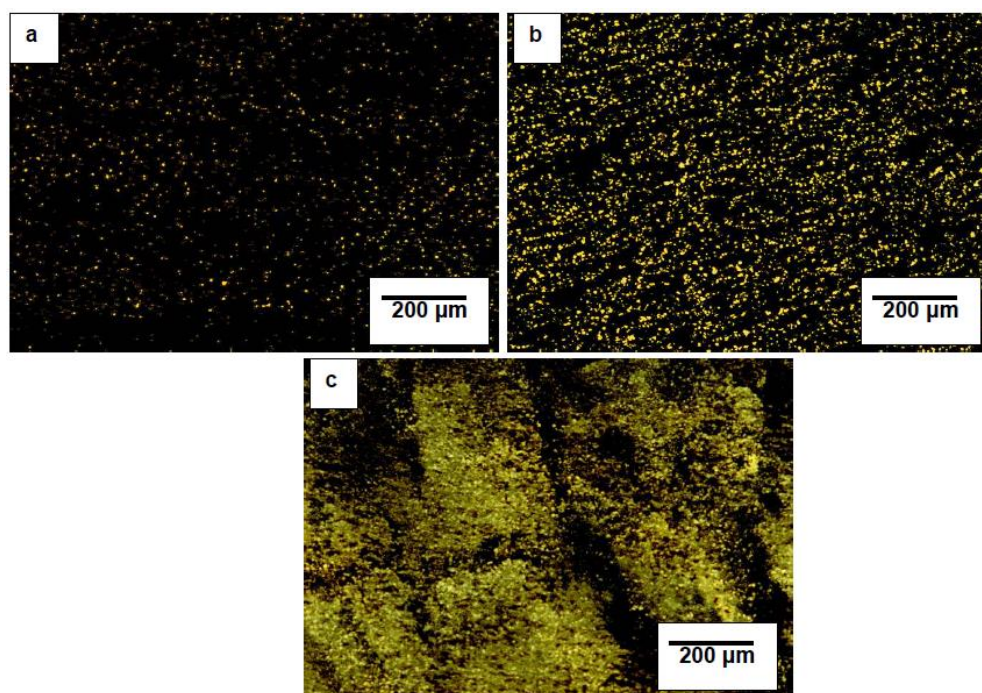
Ze względu na korzystne właściwości mieszanin paków z polimerami zasadnym było sprawdzenie możliwości wykorzystania odpadów tworzyw polimerowych do otrzymywania kompozycji pakowo-polimerowych, ze wskazaniem jako potencjalnych surowców do wytwarzania porowatych materiałów węglowych. Jednym z głównych czynników wpływających na współmieszalność składników kompozycji, obok właściwości, budowy bitumu i odpadu tworzywa polimerowego oraz ich wzajemnych ilości, jest prawidłowy dobór podstawowych parametrów otrzymywania, takich jak: temperatura i czas homogenizacji. Każdy z odpadów tworzyw polimerowych wymagał stosowania indywidualnych parametrów

sporządzania kompozycji. Dlatego też w pierwszej kolejności podjąłem prace nad wyznaczeniem optymalnych parametrów otrzymywania kompozycji fizycznie jednorodnych i stabilnych, ze szczególnym uwzględnieniem jak najniższych temperatur homogenizacji składników, co miało na celu ewentualne względy ekonomiczne i wyeliminowanie lub ograniczenie procesów destrukcji i/lub degradacji odpadów polimerowych w środowisku bitumu węglowego. W publikacjach w *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [H1 oraz H7], *Colloid and Polymer Science* [H3] oraz *Polimery* [H2 oraz H9] przedstawiłem wyniki badań wpływu ilości i rodzaju odpadu polimerowego na właściwości, skład grupowy oraz strukturę paku węglowego. W przypadku kompozycji pakowo-polimerowych brak jest znormalizowanych metod oznaczania ich właściwości. Dlatego też w celu porównania właściwości kompozycji w stosunku do składników wyjściowych, wykorzystałem metody tradycyjne stosowane do oznaczania właściwości substancji bitumicznych (paki i asfalty naftowe) i/lub tworzyw sztucznych. W tabeli 1 przedstawiłem warunki sporządzania i właściwości fizykochemiczne kompozycji pakowo-polimerowych, a na rysunkach 1-3 przedstawiłem obrazy mikroskopowe struktur kompozycji pakowo-polimerowych.

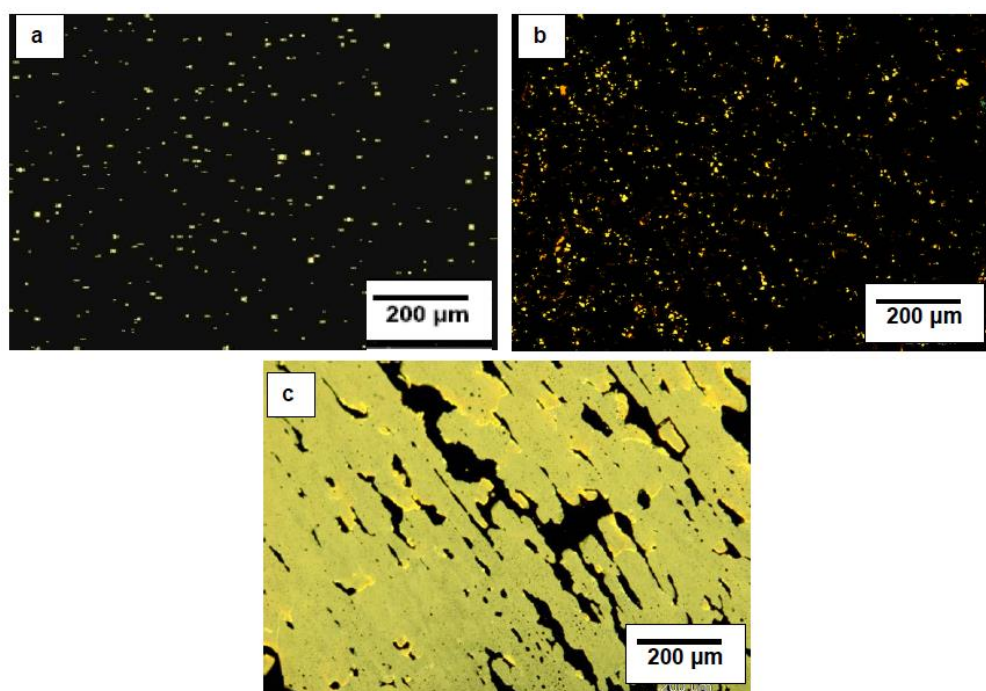
Tabela 1. Warunki sporządzania i właściwości kompozycji pakowo-polimerowych

Skład kompozycji [% mas.]	Warunki sporządzania kompozycji	T _(PIK) [°C]	LK [%mas.]	TI [%mas.]	QI [%mas.]
Pak węglowy	–	107,0	53,03	34,21	7,14
90 Pak + 10 PET	260°C 0,5 h	127,0	53,62	45,80	13,31
75 Pak + 25 PET		166,0	50,10	43,10	29,43
50 Pak + 50 PET		236,0	38,00	68,50	62,79
90 Pak + 10 PF	150°C 2,5 h	128,0	54,16	55,18	10,14
75 Pak + 25 PF		141,0	53,67	63,04	4,48
50 Pak + 50 PF		*	54,07	88,54	4,21
90 Pak + 10 PMMA	270°C 1 h	137,0	60,08	35,62	8,78
75 Pak + 25 PMMA		145,0	48,33	29,36	9,22
50 Pak + 50 PMMA		200,0	28,79	23,03	10,49

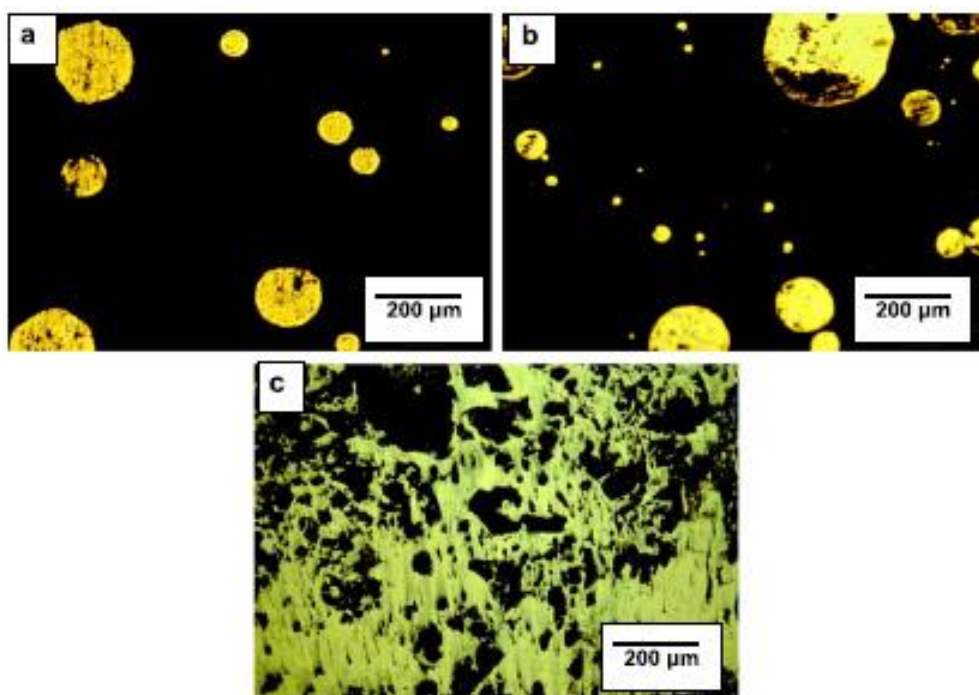
* kompozycja nietopliwa; T_(PIK) – temperatura mięknięcia oznaczona metodą „Pierścień i Kula”; LK – liczba koksowania; TI – zawartość składników nierozpuszczalnych z toluenie; QI – zawartość składników nierozpuszczalnych w chinolinie



Rys. 1. Obrazy mikroskopowe struktur kompozycji pak-PET zawierających: a) 10% mas. PET, b) 25% mas. PET, c) 50% mas. PET



Rys. 2. Obrazy mikroskopowe struktur kompozycji pak-PF zawierających: a) 10% mas. PF, b) 25% mas. PF, c) 50% mas. PF



Rys. 3. Obrazy mikroskopowe struktur kompozycji pak-PMMA zawierających: a) 10% mas. PMMA, b) 25% mas. PMMA, c) 50% mas. PMMA

Zmiany właściwości fizykochemicznych paku węglowego zależały od rodzaju i ilości stosowanego odpadu polimerowego. Dodatek odpadów polimerowych w ilości od 10% mas. do 50% mas. do paku węglowego zwiększał jego temperaturę mięknięcia, zmniejszał liczbę koksowania (dodatek odpadu PF powodował niewielkie zmiany tego parametru), zwiększał zawartość składników nierozpuszczalnych w toluenie (poza odpadem PMMA) i chinolinie (dodatek odpadu PF powodował zmniejszenie zawartości składników nierozpuszczalnych w chinolinie).

Kompozycje pakowo-polimerowe można traktować jako układy mikroheterogeniczne, koloidalne, dwufazowe, z reguły odznaczające się równomiernym zdyspergowaniem cząstek złożonych z makrocząsteczek polimerów i prawdopodobnie składników α paku węglowego. Rozmiary zdyspergowanych cząstek zależały od rodzaju i ilości wprowadzonego do paku węglowego odpadu polimerowego. Wskazałem zależności pomiędzy właściwościami kompozycji pakowo-polimerowych a ich strukturą. W większości przypadków wzrost wielkości zdyspergowanych agregatów powodował zwiększenie temperatury mięknięcia, zawartości składników nierozpuszczalnych w toluenie i chinolinie oraz zmniejszenie liczby koksowania.

7.2. Porowate materiały węglowe z kompozycji pakowo-polimerowych zawierające odpady tworzyw polimerowych

Otrzymanie porowatych materiałów węglowych o dobrych właściwościach sorpcyjnych i korzystnej strukturze porowatej z kompozycji pakowo-polimerowych wymagało doboru optymalnych parametrów karbonizacji oraz aktywacji. Zachęciło mnie to do wyjaśnienia zagadnienia dotyczącego wpływu parametrów karbonizacji i aktywacji na właściwości sorpcyjne adsorbentów węglowych z kompozycji pakowo-polimerowych. Efektem tych badań była publikacja przedstawiona w *Przemysle Chemicznym* [H4]. Uzyskane wyniki badań wskazały, że na właściwości sorpcyjne porowatych materiałów węglowych mają wpływ warunki karbonizacji i aktywacji, tj. szybkość ogrzewania podczas karbonizacji, temperatura karbonizacji i aktywacji oraz ilość chemicznego czynnika aktywującego w mieszaninie reakcyjnej. Zwiększanie szybkości ogrzewania podczas karbonizacji wstępnej (karbonizacja prowadzona w temperaturze 520°C) powodowało zmniejszanie wartości liczby jodowej, przy nieznacznej zmianie wartości liczby metylenowej. Z kolei, zwiększanie szybkości ogrzewania podczas karbonizacji właściwej (karbonizacja prowadzona w temperaturze 750-950°C) powodowało zwiększanie wartości liczby jodowej, przy nieznacznej zmianie wartości liczby metylenowej badanych adsorbentów węglowych. W większości przypadków, zwiększanie temperatury karbonizacji do 850°C powodowało zwiększanie wartości liczb jodowej i metylenowej. Dalsze zwiększanie temperatury karbonizacji do 900°C powodowało zmniejszanie wartości liczby jodowej, przy nieznacznej zmianie wartości liczby metylenowej. W przypadku aktywacji parą wodną, zwiększanie temperatury aktywacji do 800°C powodowało zwiększanie wartości liczby jodowej i metylenowej. Z dalszym zwiększaniem temperatury aktywacji malały wartości liczby jodowej i metylenowej. W przypadku aktywacji wodorotlenkiem potasu zwiększanie temperatury aktywacji i ilości chemicznego czynnika aktywującego w mieszaninie reakcyjnej powodowało zwiększanie wartości liczb jodowej i metylenowej. Dodatkowo do dalszych badań wykorzystałem węglan potasu oraz węglan magnezu, jako czynniki aktywujące. Przeprowadzone badania umożliwiły ustalenie optymalnych parametrów karbonizacji i aktywacji kompozycji pakowo-polimerowych w celu otrzymania mikro- i mezoporowatych adsorbentów węglowych, w zależności od czynnika aktywującego, tj. pary wodnej, wodorotlenku potasu, węglanu potasu lub węglanu magnezu (tabela 2).

Tabela 2. Parametry otrzymywania mikro- i mezoporowatych adsorbentów węglowych z kompozycji pakowo-polimerowych zawierających odpady polimerowe

Karbonizacja wstępna	Karbonizacja właściwa	Aktywacja
Aktywacja parą wodną		
szybkość ogrzewania 5°C/min, temperatura 520°C, czas 1 h.	szybkość ogrzewania 10°C/min, temperatura 850°C, czas 1 h.	szybkość ogrzewania 5°C/min, temperatura 800°C.
Aktywacja wodorotlenkiem potasu		
szybkość ogrzewania 5°C/min (dla PMMA) lub 10°C/min (dla PET lub PF), temperatura 520°C, czas 1 h.	–	szybkość ogrzewania 10°C/min, temperatura 800°C, czas 1 h, surowiec/KOH 1:3.
Aktywacja węglanem potasu lub węglanem magnezu		
–	–	szybkość ogrzewania 10°C/min, temperatura 850°C, czas 1 h, surowiec/czynnik aktywujący 3:7.

Ze względu na ilość i różnorodność stosowanych surowców w układach bitumiczno-polimerowych, podjąłem się oceny wpływu ilości i rodzaju odpadu tworzywa polimerowego na właściwości sorpcyjne porowatych materiałów węglowych otrzymanych przede wszystkim w procesie aktywacji parą wodną lub wodorotlenkiem potasu. Przedstawione wyniki badań w publikacjach w czasopiśmie *Polimery* [H2 oraz H9] (tabele 3 i 4) wykazały, że zwiększanie ilości odpadów w kompozycjach, niezależnie od jego rodzaju, powodowało zwiększanie liczby jodowej oraz niewielkie zmiany liczby metylenowej. Ponadto, w większości przypadków, adsorbenty węglowe uzyskane z kompozycji pakowo-polimerowych odznaczały się większymi wartościami liczb jodowej i metylenowej w porównaniu do materiałów porowatych otrzymanych z paku węglowego. Dobrymi właściwościami sorpcyjnymi (największymi wartościami liczb jodowej i metylenowej) odznaczały się adsorbenty węglowe uzyskane z kompozycji zawierających odpady PET, PF lub PMMA, korzystnie w ilości 50% mas. Stąd też, do dalszego cyklu badań wykorzystałem kompozycje zawierające 50% mas. odpadu poli(tereftalanu etylenu), żywicy fenolowo-formaldehydowej lub poli(metakrylanu metylu). Oceniając skuteczność działania stosowanych czynników aktywujących na właściwości sorpcyjne otrzymanych adsorbentów ustaliłem, że porowate materiały węglowe otrzymane w procesie aktywacji wodorotlenkiem potasu odznaczały się znacznie większymi wartościami liczb jodowej i metylenowej niż adsorbenty węglowe uzyskane w procesie aktywacji parą wodną. Efektem powyższych badań było uzyskanie w 2015 roku patentu

numer 222973 pt. *Porowaty materiał węglowy oraz sposób otrzymywania porowatego materiału węglowego.*

Tabela 3. Właściwości sorpcyjne porowatych materiałów węglowych otrzymanych z kompozycji pakowo-polimerowych w procesie aktywacji parą wodną

Porowaty materiał węglowy	Liczba jodowa [mg/g]	Liczba metylenowa [cm ³]
WApak(H ₂ O)	580	4
WA10PET(H ₂ O)	480	11
WA25PET(H ₂ O)	510	11
WA50PET(H ₂ O)	1020	13
WA10PF(H ₂ O)	620	7
WA25PF(H ₂ O)	600	7
WA50PF(H ₂ O)	1050	8
WA10PMMA(H ₂ O)	580	5
WA25PMMA(H ₂ O)	690	6
WA50PMMA(H ₂ O)	700	6

Tabela 4. Właściwości sorpcyjne porowatych materiałów węglowych otrzymanych z kompozycji pakowo-polimerowych w procesie aktywacji wodorotlenkiem potasu

Porowaty materiał węglowy	Liczba jodowa [mg/g]	Liczba metylenowa [cm ³]
WApak(KOH)	960	9
WA10PET(KOH)	1780	12
WA25PET(KOH)	1850	13
WA50PET(KOH)	2160	13
WA10PF(KOH)	1870	19
WA25PF(KOH)	1950	19
WA50PF(KOH)	2240	21
WA10PMMA(KOH)	2220	26
WA25PMMA(KOH)	2230	28
WA50PMMA(KOH)	2260	33

W dalszych etapach badań podjąłem się problematyki dotyczącej kompleksowej oceny właściwości sorpcyjnych oraz tekstury porowatej materiałów węglowych uzyskanych z kompozycji pakowo-polimerowych w zakresie mikro- i mezoporowatości. Jednocześnie istotnym z poznawczego punktu widzenia było znalezienie zależności pomiędzy warunkami

preparatyki (ilość i rodzaj składników kompozycji, parametry i sposób otrzymywania kompozycji oraz materiałów porowatych) a właściwościami i parametrami strukturalnymi uzyskanych adsorbentów węglowych.

Na podstawie pomiarów właściwości sorpcyjnych oraz adsorpcji/desorpcji par azotu (tabela 5) wykazałem, że rodzaj odpadu polimerowego i czynnika aktywującego miały wpływ na właściwości oraz strukturę porowatą adsorbentów węglowych uzyskanych z kompozycji pakowo-polimerowych, zawierających 50% mas. odpadu polimerowego.

Tabela 5. Właściwości sorpcyjne i parametry struktury porowatej adsorbentów węglowych z kompozycji pakowo-polimerowych

Porowaty materiał węglowy	LJ [mg/g]	LM [cm ³]	S _{BET} [m ² /g]	V _{mik} [cm ³ /g]	V _{mez} [cm ³ /g]
Aktywacja parą wodną					
WA50PET(H ₂ O)	1020	13	1042	0,381	0,040
WA50PF(H ₂ O)	1050	8	1120	0,393	0,056
WA50PMMA(H ₂ O)	700	6	401	0,152	0,036
Aktywacja wodorotlenkiem potasu					
WA50PET(KOH)	2110	13	3265	1,060	0,328
WA50PF(KOH)	2160	21	3345	1,062	0,258
WA50PMMA(KOH)	2190	33	3134	1,017	0,162
Aktywacja węglanem potasu					
WA50PET(K ₂ CO ₃)	780	11	1049	0,401	0,486
WA50PF(K ₂ CO ₃)	990	6	715	0,276	0,066
WA50PMMA(K ₂ CO ₃)	960	4	1142	0,438	0,074
Aktywacja węglanem magnezu					
WA50PET(MgCO ₃)	750	4	577	0,208	0,496
WA50PF(MgCO ₃)	430	3	316	0,083	0,117
WA50PMMA(MgCO ₃)	610	2	289	0,104	0,142

LJ – liczba jodowa; LM – liczba metylenowa; S_{BET} – powierzchnia właściwa; V_{mik} – objętość mikroporów; V_{mez} – objętość mezoporów

Porowate materiały węglowe otrzymane w procesie aktywacji wodorotlenkiem potasu odznaczały się większymi wartościami liczb jodowych i metylenowych oraz większą powierzchnią właściwą i objętością porów niż adsorbenty węglowe uzyskane w procesie aktywacji parą wodną, węglanem potasu lub węglanem magnezu. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że adsorbenty węglowe otrzymane z kompozycji pakowo-polimerowych w procesie aktywacji wodorotlenkiem potasu odznaczały się rozwinięciem powierzchni

właściwej powyżej 3000 m²/g, co świadczy o unikalności otrzymanych adsorbentów węglowych w porównaniu do najlepszych porowatych materiałów węglowych. Porowate materiały węglowe otrzymane w procesie aktywacji parą wodną, wodorotlenkiem potasu lub węglanem potasu z kompozycji zawierających 50% mas. odpadu PF lub PMMA odznaczały się strukturą mikroporowatą. Z kolei, porowate materiały węglowe uzyskane w procesie aktywacji węglanem magnezu oraz z kompozycji zawierającej 50% mas. odpadu PET w procesie aktywacji węglanem potasu odznaczały się strukturą mezoporowatą. Wynika to z procesów zachodzących pomiędzy makrocząsteczkami polimeru a składnikami paku węglowego podczas karbonizacji i/lub aktywacji czynnikami chemicznymi. Wydzielające się produkty lotne w procesach wysokotemperaturowej obróbki cieplnej kompozycji i zachodzące reakcje wtórne, m.in. z chemicznymi czynnikami aktywującymi korzystnie wpływają na rozwinięcie struktury porowatej materiałów węglowych. W zależności od zastosowanego chemicznego czynnika aktywującego może rozwijać się struktura mikroporowata i/lub mezoporowata. Ponadto wytypowane odpady polimerowe w budowie łańcucha zawierają tlen, który może sprzyjać procesom odwodornienia podczas karbonizacji i/lub aktywacji kompozycji, co prawdopodobnie korzystnie wpływa na strukturę porowatą adsorbentów węglowych. Wyniki badań były opublikowane w czasopiśmie *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [H8] i *Przemysł Chemiczny* [H5].

Przedstawione wyniki badań w publikacji [H5] pozwalają na stwierdzenie, że rodzaj odpadu polimerowego i czynnika aktywującego miały również wpływ na charakter chemiczny powierzchni adsorbentów węglowych otrzymanych z kompozycji pakowo-polimerowych zawierających odpady polimerowe (tabela 6). Adsorbenty węglowe uzyskane w procesie aktywacji parą wodną z kompozycji zawierających 50% mas. odpadu PET lub PF wykazały charakter kwasowy, a adsorbent węglowy otrzymany z kompozycji zawierającej 50% mas. odpadu PMMA odznaczał się charakterem zasadowym. Z kolei, adsorbenty węglowe uzyskane w procesie aktywacji wodorotlenkiem potasu lub węglanem magnezu wykazały przede wszystkim charakter zasadowy. W przypadku adsorbentów węglowych otrzymanych w procesie aktywacji węglanem potasu, charakterem zasadowym odznaczał się adsorbent uzyskany z kompozycji zawierającej 50% mas. odpadu PF, natomiast charakter kwasowy wykazały adsorbenty otrzymane z kompozycji zawierających 50% mas. odpadu PET lub PMMA.

Tabela 6. Chemiczny charakter powierzchni adsorbentów węglowych oraz adsorpcja węglowodorów aromatycznych ze ścieków

Porowaty materiał węglowy	Kwasowość [meq/g]	Zasadowość [meq/g]	Stopień usunięcia węglowodorów aromatycznych w ściekach [%]
Aktywacja parą wodną			
WA50PET(H ₂ O)	0,55	0,44	16,33
WA50PF(H ₂ O)	1,27	0,73	14,61
WA50PMMA(H ₂ O)	0,50	0,65	14,20
Aktywacja wodorotlenkiem potasu			
WA50PET(KOH)	0,56	1,49	54,71
WA50PF(KOH)	0,64	1,63	60,81
WA50PMMA(KOH)	0,66	0,99	47,12
Aktywacja węglanem potasu			
WA50PET(K ₂ CO ₃)	0,44	0,94	90,14
WA50PF(K ₂ CO ₃)	0,99	0,61	43,65
WA50PMMA(K ₂ CO ₃)	0,89	0,65	37,69
Aktywacja węglanem magnezu			
WA50PET(MgCO ₃)	0,65	1,85	88,20
WA50PF(MgCO ₃)	0,95	1,59	84,13
WA50PMMA(MgCO ₃)	0,81	1,67	82,54

Interesującym wydaje się być wykorzystanie techniki różnicowej kalorymetrii skaningowej do określenia właściwości porowatych materiałów węglowych. Przedstawione wyniki badań w publikacjach w *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [H1 oraz H8] wykazały, że zastosowanie różnicowej kalorymetrii skaningowej w badaniach porowatych materiałów węglowych umożliwiło oznaczenie temperatury desorpcji wody oraz znalezienie korelacji pomiędzy właściwościami termicznymi, a właściwościami sorpcyjnymi i strukturą porowatą adsorbentów węglowych, w zależności od ilości i rodzaju odpadu polimerowego, np. w przypadku porowatych materiałów węglowych otrzymanych z kompozycji pak-PET temperatura desorpcji wody malała ze wzrostem ilości odpadu PET w paku węglowym, przy jednoczesnym wzroście zdolności sorpcyjnych, stopnia rozwinięcia powierzchni właściwej i objętości mikroporów oraz nieznacznym wzroście mezoporów adsorbentów węglowych. Z kolei, w przypadku adsorbentów węglowych uzyskanych z kompozycji pak-PF temperatura desorpcji wody rosła ze wzrostem ilości odpadu PF w paku węglowym, przy jednoczesnym wzroście zdolności sorpcyjnych, stopnia rozwinięcia powierzchni właściwej oraz objętości

mikroporów i mezoporów adsorbentów węglowych. Ponadto wykazałem, że higroskopijność adsorbentów węglowych może być związana z obecnością utlenionych grup powierzchniowych, odpowiedzialnych za wiązania wodorowe między cząsteczkami wody i tlenu.

Kontynuację badań stanowiła ocena przydatności porowatych materiałów węglowych z kompozycji pakowo-polimerowych w tradycyjnych procesach technologii adsorpcyjnej, np. do oczyszczania ścieków przemysłowych, pochodzących z przemysłu rafineryjno-petrochemicznego. Wyniki przeprowadzonych przeze mnie badań opublikowałem w czasopiśmie *Przemysł Chemiczny* [H5]. Wykazałem, że porowate materiały węglowe otrzymane w procesie aktywacji MgCO_3 oraz z kompozycji zawierającej 50% mas. odpadu PET w procesie aktywacji K_2CO_3 odznaczały się największą zdolnością do adsorpcji węglowodorów aromatycznych (stopień usunięcia węglowodorów aromatycznych w ściekach przemysłowych wynosił >82%), co jest istotne dla najlepszych jakościowo produkowanych materiałów porowatych wykorzystywanych do oczyszczania ścieków przemysłowych. Istotny wpływ na zdolność adsorpcyjną węglowodorów aromatycznych miała struktura porowata adsorbentów węglowych. Największym stopniem usunięcia węglowodorów aromatycznych ze ścieków przemysłowych odznaczały się adsorbenty o strukturze mezoporowatej. Z kolei, adsorbenty o strukturze mikroporowatej wykazały maksymalnie 61-proc. stopień usunięcia węglowodorów aromatycznych ze ścieków rafineryjno-petrochemicznych (tabela 6).

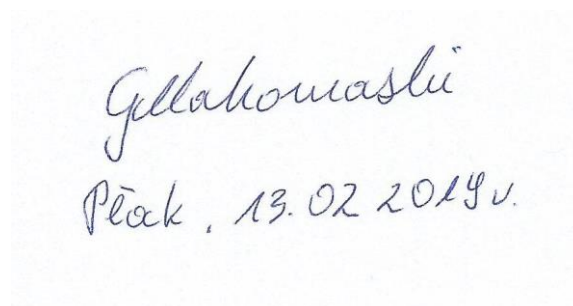
7.3. Podsumowanie

Przeprowadzone przeze mnie badania, które w formie przeglądu literaturowego zostały opublikowane w czasopiśmie *Przemysł Chemiczny* [H6], wskazały na możliwość wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł surowcowych, jakim są kompozycje pakowo-polimerowe, zawierające uciążliwe dla środowiska odpady tworzyw polimerowych do otrzymywania mikro- i mezoporowatych materiałów węglowych. Zastosowanie nietypowego surowca, w wyniku połączenia odpadu tworzywa polimerowego z substancją bitumiczną, stwarza możliwość wytworzenia porowatych materiałów węglowych o korzystnych właściwościach i strukturze porowatej. Ponadto, wykorzystanie odpadów tworzyw polimerowych do wytwarzania adsorbentów węglowych stwarza nowe możliwości ich recyklingu. Z punktu widzenia właściwości strukturalnych i użytkowych otrzymanych adsorbentów, duże znaczenie mają procesy karbonizacji i aktywacji wyjściowych surowców. Doskonalenie metod wytwarzania i modyfikacji pozwala na kontrolowaną preparatykę

materiałów porowatych dla określonych zastosowań, np. oczyszczania ścieków rafineryjno-petrochemicznych.

Do naukowych osiągnięć w ramach przedstawionego obszaru badań zaliczam:

- wykorzystanie uciążliwych dla środowiska odpadów tworzyw polimerowych, m.in. żywicy fenolowo-formaldehydowej, poli(metakrylanu metylu) lub poli(tereftalanu etylenu), jako prekursorów do otrzymywania porowatych materiałów węglowych o zróżnicowanej strukturze porowatej,
- opracowanie metod otrzymywania mikro- i mezoporowatych materiałów węglowych z mieszanin bitumiczno-polimerowych w procesie aktywacji parą wodną, wodorotlenkiem potasu oraz węglanami potasu i magnezu,
- ocenę wpływu warunków preparatyki (ilość stosowanych składników kompozycji, parametry, sposób otrzymywania kompozycji i materiałów porowatych) oraz budowy chemicznej odpadów tworzyw polimerowych na właściwości i parametry strukturalne uzyskanych porowatych materiałów węglowych,
- ocenę właściwości sorpcyjnych, struktury porowatej oraz chemicznego charakteru powierzchni porowatych materiałów węglowych z mieszanin bitumiczno-polimerowych, pod kątem ich przydatności.



Gellakomastli
Pëak, 13.02.2019v.

8. Pozostałe prace naukowo-badawcze prowadzone po uzyskaniu stopnia doktora

8.1. Współrealizacja projektu badawczego z Narodowego Centrum Nauki (NN 209763640)

Prace badawcze związane z tematyką pracy doktorskiej stanowiły podstawę do otwarcia m.in. nowych kierunków wykorzystania odpadów polimerowych jako prekursorów do otrzymywania porowatych materiałów węglowych o zróżnicowanej strukturze porowatej. Rezultatem tego było utworzenie tematycznej grupy badawczej, w skład której wchodził zespół badawczy pod kierunkiem prof. Janusza Zielińskiego z Politechniki Warszawskiej oraz zespół badawczy pod kierunkiem prof. Leszka Czepirskiego z Akademii Górniczo-Hutniczej, która w ramach projektu (NN 209763640) z Narodowego Centrum Nauki, w latach 2011-2013, realizowała prace badawcze dotyczące wykorzystania odpadów polimerowych do otrzymywania adsorbentów węglowych o potencjalnych zastosowaniach w procesach adsorpcji z fazy gazowej. Efektem przeprowadzonych badań są publikacje, m.in. w czasopiśmie *Inżynieria i Ochrona Środowiska* (*Pore structure of activated carbons from waste polymers*, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 16, nr 3, 353-359 (2013)), *Current Nanomaterials* (*Novel carbonaceous nanomaterials from waste polymers*, *Current Nanomaterials* 1, nr 2, 103-109 (2016)) oraz kilka referatów i komunikatów przedstawionych na konferencjach krajowych oraz zagranicznych. Ponadto za cykl prac w tej tematyce, w 2015 roku otrzymałem zespołową nagrodę Rektora Politechniki Warszawskiej stopnia I za osiągnięcia naukowe w latach 2013-2014.

8.2. Adsorbenty węglowe z bitumów naftowych modyfikowanych odpadami tworzyw polimerowych

Badania dotyczące przedmiotu rozprawy habilitacyjnej skłoniły mnie do podjęcia prób wykorzystania bitumów naftowych modyfikowanych odpadami tworzyw polimerowych do otrzymywania porowatych materiałów węglowych. Przedstawione wyniki badań, zamieszczone w czasopiśmie *Przemysł Chemiczny* (*Adsorbenty węglowe z bitumów naftowych modyfikowanych odpadami tworzyw sztucznych*, *Przemysł Chemiczny* 96, nr 4, 728-730 (2017)), wskazały na możliwość otrzymania porowatych materiałów węglowych z kompozycji bitumiczno-polimerowych zawierających bitum naftowy i odpady PET lub PF, korzystnie w ilości 50% mas. Aktywacja parą wodną umożliwiła uzyskanie porowatych materiałów węglowych, odznaczających się zdolnością sorpcyjną względem jodu do 1140 mg/g, zaś adsorbenty węglowe otrzymane w procesie aktywacji chemicznej wodorotlenkiem potasu odznaczały się zdolnością sorpcyjną względem jodu do 1710 mg/g.

8.3. Badania regeneracji sorbentów mineralnych

W 2018 roku kierowałem zespołem badawczym realizującym projekt naukowo-badawczy dla firmy Basell Orlen Polyolefins S.A. dotyczący opracowania metody badawczej oceny zdolności sorpcyjnej sorbentów mineralnych oraz sposobu i parametrów regeneracji sorbentów mineralnych. Wyniki tych badań zostały przedstawione w niepublikowanej pracy badawczo-naukowej pt.: „*Opracowanie metodologii badania aktywności Selexsorb CD/COS i określenie spadku aktywności złoza po regeneracji*”. Uzyskane rezultaty z realizacji powyższego projektu naukowo-badawczego są na etapie wdrażania w firmie Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o.

8.4. Modyfikacja asfaltów naftowych związkami wielkocząsteczkowymi

Od 2012 roku uczestniczę w pracach badawczych dotyczących modyfikacji asfaltów naftowych kopolimerem styren-butadien-styren (SBS) i woskami polietylenowymi. Mój wkład w prace badawcze obejmował przede wszystkim badania właściwości fizykochemicznych i termicznych mieszanin asfalt-SBS oraz struktur kompozycji asfalt-SBS-wosk. Wyniki badań zostały przedstawione w publikacjach w czasopismach Przemysł Chemiczny (*Badania właściwości asfaltów z dodatkiem wosku*, Przemysł Chemiczny 96, nr 4, 719-723 (2017)) i Elastomery (*Wpływ kopolimeru styren-butadien-styren na właściwości asfaltu*, Elastomery 17, nr 4, 30-36 (2013); *Struktura asfaltu modyfikowanego kopolimerem styren-butadien-styren (SBS) i woskiem syntetycznym*, Elastomery 21, nr 1, 20-31 (2017)), a także na kilku konferencjach krajowych.

8.5. Prace badawcze dotyczące poliolefin i wosków poliolefinowych

Ze względu na wiodącą tematykę badań realizowaną w Zakładzie Tworzyw Sztucznych, po uzyskaniu stopnia doktora, zajmuję się pracami badawczymi dotyczącymi poliolefin oraz wosków polietylenowych. Wyniki tych badań zostały przedstawione w kilkunastu niepublikowanych pracach badawczo-naukowych, w tym w pracach na rzecz przemysłu oraz w pracach statutowych, np.:

- Praca naukowo-badawcza dla przemysłu, 2016, *Wpływ nawrotu frakcji etylenowej ze skrubera 2T3201 na jakość zawiesiny w pierwszym reaktorze i właściwości PE-HD ACP 9255 Plus*.
- Praca naukowo-badawcza dla przemysłu, 2011-2012, *Badania właściwości wybranych dodatków uszlachetniających poliolefiny produkowane w Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o.*

- Praca statutowa PW nr 504P/7192/0215/001, 2015, *Badania nad możliwością zmniejszenia ilości produktu ubocznego wydzielanego w procesie produkcji polietylenu dużej gęstości.*
- Praca statutowa PW nr 504G/7702/0209/001, 2014, *Badania wpływu produktu przejściowego na właściwości polietylenu.*
- Praca statutowa PW nr 504P/7702/0211/001, 2011-2012, *Badania właściwości wosków polietylenowych w aspekcie ich zastosowania.*

9. Podsumowanie działalności naukowo-badawczej po uzyskaniu stopnia doktora

1. Autor i współautor publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych oraz rozdziałów w monografiach i patencie:

- **14** publikacji z listy A czasopism punktowanych MNiSW,
- **1** patent,
- **2** rozdziały w monografiach,
- **6** publikacji z listy B czasopism punktowanych MNiSW.

2. Referaty i komunikaty na konferencjach:

- **15** referatów i komunikatów w materiałach konferencyjnych o zasięgu międzynarodowym,
- **28** referatów i komunikatów w materiałach konferencyjnych o zasięgu krajowym.

Ilościowa charakterystyka dorobku naukowego i dane bibliometryczne

Rodzaj osiągnięcia	Przed doktoratem	Po doktoracie	Suma
Publikacje z bazy JCR	4	14	18
Publikacje spoza bazy JCR	2	6	8
Rozdziały w monografiach	1	2	3
Patent	-	1	1
Referaty i komunikaty na konferencjach	13	43	56
Impact Factor	1,901	14,112	16,013
H-index: wg Web of Science i Scopus	6		
Cytowania:			
– Web of Science	65		
– Scopus	68		
Punktacja za publikacje wg listy MNiSW	70	333	403

10. Inne osiągnięcia związane z działalnością naukowo-badawczą

10.1. Niepublikowane prace naukowo-badawcze:

1. Autor i współautor niepublikowanych prac naukowo-badawczych:

- 3 prace dotyczące realizacji projektu badawczego z Narodowego Centrum Nauki (nr pracy N N209763640),
- 4 prace na rzecz przemysłu (Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o.; PKN Orlen S.A.),
- 12 prac statutowych i grantów dziekańskich.

2. Kierowanie pracami naukowo-badawczymi:

- Projekt badawczy Urzędu Miasta Płocka, 2018-2019 (w trakcie realizacji), *Odpad poliamidu jako surowiec do otrzymywania porowatych materiałów węglowych.*
- Praca naukowo-badawcza dla przemysłu, 2018, *Opracowanie metodologii badania aktywności Selexsorb CD/COS i określenie spadku aktywności złoża po regeneracji.*
- Praca statutowa PW nr 504P/7192/0317/001, 2017, *Badania nad otrzymywaniem i właściwościami porowatych materiałów węglowych z układów bitumiczno-polimerowych.*
- Grant PW nr 504M/7192/6000/000, 2012, *Badanie właściwości węgla aktywnych otrzymanych z kompozycji pakowo-polimerowych: badanie struktury koloidalnej kompozycji pakowo-polimerowych metodą mikroskopii fluorescencyjnej.*
- Grant PW nr 504M/7192/1200/000, 2013, *Otrzymywanie i właściwości adsorbentów węglowych w formie monolitów z kompozycji pakowo-polimerowych.*
- Grant PW nr 504M/7192/15000/000, 2014, *Otrzymywanie adsorbentów węglowych z kompozycji pakowo-polimerowych do oczyszczania ścieków przemysłowych.*
- Grant PW nr 504M/7192/2015/000, 2015, *Badania struktury adsorbentów węglowych z kompozycji pakowo-polimerowych.*
- Grant PW nr 504M/7192/2016/000, 2016, *Otrzymywanie i właściwości adsorbentów węglowych z odpadów tworzyw sztucznych,*
- Grant PW nr 504M/7192/2017/000, 2017, *Badania nad modyfikacją bitumu z łupków wybranymi odpadami tworzyw sztucznych.*
- Grant PW nr 504M/7192/2018/000, 2018, *Badania właściwości porowatych materiałów węglowych z mieszanin bitumiczno-polimerowych.*

3. Udział w realizacji projektów badawczych i prac naukowo-badawczych (wykonawca):

- Projekt badawczy Narodowego Centrum Nauki (NN209763640), 2011-2014, *Adsorbenty węglowe z odpadowych tworzyw sztucznych – otrzymywanie, badanie właściwości, zastosowania.*
- Praca naukowo-badawcza dla przemysłu, 2011-2012, *Badania właściwości wybranych dodatków uszlachetniających poliolefiny produkowane w Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o.*
- Praca naukowo-badawcza dla przemysłu, 2014, *Weryfikacyjne badania jakościowe produkowanych chłodziw.*
- Praca naukowo-badawcza dla przemysłu, 2016, *Wpływ nawrotu frakcji etylenowej ze skrubera 2T3201 na jakość zawiesiny w pierwszym reaktorze i właściwości PE-HD ACP 9255 Plus.*
- Praca statutowa PW nr 504P/7702/0211/001, 2011-2012, *Badania właściwości wosków polietylenowych w aspekcie ich zastosowania.*
- Praca statutowa PW nr 504P/7192/0213/001, 2013, *Badania wpływu czasu sezonowania folii polipropylenowych na właściwości fizykochemiczne.*
- Praca statutowa PW nr 504G/7702/0209/001, 2014, *Badania wpływu produktu przejściowego na właściwości polietylenu.*
- Praca statutowa PW nr 504P/7192/0215/001, 2015, *Badania nad możliwością zmniejszenia ilości produktu ubocznego wydzielanego w procesie produkcji polietylenu dużej gęstości.*

10.2. Współpraca międzynarodowa i krajowa

Współpraca z innymi ośrodkami naukowo-badawczymi w zakresie przede wszystkim problematyki habilitacyjnej dotyczyła:

- wykorzystania adsorbentów węglowych w układach magazynowania energii (Max Planck Institute for Chemical Energy Conversion, Mülheim an der Ruhr (Niemcy, 2013 rok), zespół badawczy pod kierunkiem prof. Waltera Leitnera),
- przygotowywania wspólnego wniosku w ramach programu „Horyzont 2020” z zespołem badawczym pod kierunkiem prof. Boleslav Taraba z University of Ostrava (Czechy) – podjęcie współpracy maj 2017,
- realizacji projektu badawczego z Narodowego Centrum Nauki w latach 2011-2014 z zespołem badawczym pod kierunkiem prof. Leszka Czepirskiego z Akademii Górniczo-

Hutniczej, dotyczącego wykorzystania odpadów polimerowych do otrzymywania adsorbentów węglowych. W 2018 roku kontynuowana była współpraca przy realizacji pracy naukowo-badawczej dla Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o., dotyczącej opracowania sposobu i parametrów regeneracji sorbentów mineralnych (pod moim kierunkiem),

- wykorzystania adsorbentów węglowych otrzymanych z kompozycji pakowo-polimerowych jako kondensatorów w elektrochemii – współpraca z zespołem badawczym pod kierunkiem prof. Krzysztofa Jurewicza z Politechniki Poznańskiej. Wyniki tych badań zaprezentowano, m.in. podczas konferencji „The Annual World Conference on Carbon”, CARBON2012, Kraków (lipiec 2012).

Ponadto w ostatnim czasie nawiązałem współpracę z dr Olhą Marshalok z Lwowskiego Narodowego Uniwersytetu Medycznego (Ukraina) w zakresie otrzymywania polimerów na bazie styrenu i akrylonitrylu o zwiększonej odporności termicznej. Wstępne wyniki tych badań zaprezentowano na IX Kongresie Technologii Chemicznej w Gdańsku (wrzesień 2018r.).

10.3. Recenzje publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Moje dotychczasowe doświadczenie naukowe znalazło uznanie w międzynarodowym środowisku naukowym, na co wskazuje zaproponowanie mi opracowania kilku recenzji publikacji dla czasopism *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* (**5 recenzji**), *Colloid and Polymer Science* (**2 recenzje**) oraz *Applied Mechanics and Materials* (**2 recenzje**).

10.4. Nagrody za działalność naukowo-badawczą

- Nagroda Zespołowa JM Rektora Politechniki Warszawskiej I stopnia – nagroda za osiągnięcia naukowe (rok przyznania 2012).
- Nagroda Zespołowa JM Rektora Politechniki Warszawskiej I stopnia – nagroda za osiągnięcia naukowe (rok przyznania 2015).

10.5. Popularyzacja nauki

Do moich najważniejszych osiągnięć w **zakresie popularyzacji nauki** zaliczam udział w kilkunastu konferencjach krajowych i zagranicznych. Wygłoszenie referatów i komunikatów na dużych krajowych oraz zagranicznych konferencjach naukowych, w tym m.in.:

- Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy Recyklingu 2011”, 5-8 październik 2011, Józefów.
- 7 Kongres Technologii Chemicznej, 8-12 lipiec 2012, Kraków.
- 5th International Conference on Carbon for Energy Storage/Conversion and Environment Protection CESEP’13, September 23-26, 2013, Mülheim (Niemcy).
- 8 Kongres Technologii Chemicznej, 30.08-4.09.2015, Rzeszów.
- IX Kongres Technologii Chemicznej 2018, 3-7 września 2018, Gdańsk.

11. Działalność dydaktyczna i organizacyjna

Działalność dydaktyczna, obok działalności naukowo-badawczej, stanowi ważny obszar mojej aktywności zawodowej. Prowadzę zajęcia w formie wykładów, laboratoriów oraz projektów na I i II stopniu studiów stacjonarnych i niestacjonarnych z przedmiotów:

- Zastosowanie tworzyw sztucznych (wykład).
- Przetwórstwo tworzyw sztucznych (wykład i laboratorium).
- Projektowanie wyrobów z tworzyw sztucznych (projekt).
- Wybrane zagadnienia z technologii tworzyw sztucznych (laboratorium).

Ważną częścią działalności dydaktycznej stanowi opieka nad studentami realizującymi prace dyplomowe inżynierskie oraz magisterskie. Dotychczas byłem promotorem 38 prac inżynierskich i 21 prac magisterskich, w tym kilku prac dyplomowych wyróżnionych Nagrodą Prezesa Basell Orlen Polyolefins. Do końca roku 2018 byłem recenzent kilkudziesięciu prac inżynierskich i magisterskich.

Do dorobku dydaktycznego zaliczam współautorstwo w podręczniku akademickim, a także opracowanie licznych materiałów pomocniczych dla studentów. Poniżej przedstawiłem najważniejsze osiągnięcia w działalności dydaktycznej i organizacyjnej:

1. Współautor podręcznika akademickiego *Wybrane właściwości poliolefin. Ćwiczenia laboratoryjne*, pod redakcją prof. J. Zielińskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
2. Nagroda Zespołowa JM Rektora Politechniki Warszawskiej I stopnia za osiągnięcia dydaktyczne w latach 2014-2015 (rok przyznania 2016).
3. Współautorstwo w opracowaniu nowych założeń programowych studiów podyplomowych „Materiały Polimerowe”.
4. Organizacja wielu stanowisk dydaktyczno-badawczych, w tym:
 - stanowiska do sporządzania mieszanin bitumiczno-polimerowych,

- stanowiska do otrzymywania porowatych materiałów węglowych,
- stanowiska do badania właściwości sorpcyjnych i chemicznego charakteru powierzchni porowatych materiałów węglowych,
- przystosowanie różnicowego kalorymetru skaningowego do badań materiałów polimerowych, bitumicznych i bitumiczno-polimerowych,
- stanowisk do wytłaczania, wtrysku i otrzymywania folii rękawowej oraz płaskiej,
- stanowiska do formowania próżniowego i ciśnieniowego,
- stanowiska do druku 3D.

Członkostwo w organizacjach:

- Polskie Towarzystwo Węglowe,
- Polskie Towarzystwo Naukowe Recyklingu,
- Polskie Towarzystwo Kalorymetrii i Analizy Termicznej.

Uczestnictwo w stałych komisjach uczelnianych i wydziałowych:

- Członek Komisji ds. komputeryzacji w Politechnice Warszawskiej Filii w Płocku (od 2012 r.),
- Członek Komisji Odwoławczej ds. oceny nauczycieli akademickich (od 2012 r.),
- Członek Rady Oddziałowej ZNP w Politechnice Warszawskiej.

Gellakomasz
Płock, 13.02.2019r.