

**Dr Piotr Nowicki**  
**Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu**  
**Wydział Chemii**  
**Pracownia Chemii Stosowanej**  
**ul. Umultowska 89b**  
**61-614 Poznań**

## ***Załącznik 2***

**Autoreferat w języku polskim  
obejmujący omówienie monotematycznego  
cyklu prac oraz opis dorobku naukowego  
i działalności dydaktyczno-organizacyjnej**

**Dr Piotr Nowicki**  
**Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu**  
**Wydział Chemii**  
**Pracownia Chemii Stosowanej**  
**ul. Umultowska 89b**  
**61-614 Poznań**

### **Autoreferat**

## **Badanie właściwości fizykochemicznych oraz ocena zdolności sorpcyjnych adsorbentów węglowych otrzymanych z materiałów odpadowych i niskiej jakości węgla brunatnych**

do wniosku o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego

Osiągnięcie naukowe zgłoszone do postępowania habilitacyjnego stanowi  
cykl 9 monotematycznych publikacji naukowych wydanych po uzyskaniu  
stopnia naukowego doktora

## Spis treści

<b>1. Informacje o autorze</b> .....	4
1.1 Wykształcenie .....	4
1.2 Przebieg pracy zawodowej .....	4
1.3 Uprawiana dziedzina naukowa, dyscyplina i specjalność naukowa.....	4
<b>2. Wykaz publikacji wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej</b> .....	5
<b>3. Omówienie najważniejszych osiągnięć zawartych w pracach stanowiących podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego</b> .....	8
3.1 Wprowadzenie i cel rozprawy habilitacyjnej.....	8
3.2 Wytwarzanie węgla aktywnych z materiałów odpadowych i węgla brunatnych o wysokiej zawartości substancji mineralnej, charakterystyka ich właściwości fizykochemicznych oraz ocena zdolności sorpcyjnych wobec zanieczyszczeń gazowych i ciekłych .....	11
3.3 Podsumowanie i najważniejsze wyniki .....	38
3.4 Cytowana literatura.....	41
<b>4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych</b> .....	44
4.1 Opis dotychczasowej pracy badawczej.....	44
4.2 Spis publikacji.....	46
4.2.1. Publikacje w czasopismach znajdujących się w bazie JCR (Journal Citation Reports) opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora.....	46
4.2.2. Publikacje w czasopismach znajdujących się w bazie JCR opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora .....	48
4.2.3. Publikacje w czasopismach znajdujących się poza bazą JCR opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora .....	54
4.2.4. Publikacje w czasopismach znajdujących się poza bazą JCR opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora .....	54
4.2.5. Prace pokonferencyjne opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora .....	55
4.2.6. Prace pokonferencyjne opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora .....	56
4.3 Udział w konferencjach naukowych.....	60
4.3.1. Wygłoszone wykłady i komunikaty .....	60
4.3.2. Prezentacje posterowe.....	61
4.4 Analiza bibliograficzna.....	74

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

4.5 Nagrody i wyróżnienia za osiągnięcia naukowe.....	76
4.6 Wykaz zrealizowanych projektów naukowych .....	76
4.7 Wykaz recenzji wykonanych dla międzynarodowych czasopism naukowych .....	77
<b>5. Działalność dydaktyczna i organizacyjna.....</b>	<b>77</b>
5.1 Opracowane materiały dydaktyczne .....	77
5.2 Wykaz prowadzonych zajęć dydaktycznych na Wydziale Chemii UAM.....	77
5.3 Opieka naukowa nad studentami .....	78
5.4 Działalność organizacyjna .....	78

## 1. Informacje o autorze

Dane osobowe:

Imię i nazwisko: Piotr Nowicki  
Data i miejsce urodzenia: 12 listopada 1980 r., Koło

Dane kontaktowe:

Miejsce pracy: Pracownia Chemii Stosowanej, Wydział Chemii UAM  
ul. Umultowska 89b, 61-614 Poznań  
e-mail: piotrnow@amu.edu.pl  
telefon: +48 61-829-17-44

### 1.1 Wykształcenie

2004 – 2008: Studium doktoranckie na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Właściwości fizykochemiczne modyfikowanych azotem węgla aktywnych”

Promotor: prof. dr hab. Helena Wachowska

uzyskany stopień naukowy – doktor nauk chemicznych w zakresie chemii – 20 czerwca 2008 r.

1999 – 2004: Studia magisterskie na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Tytuł pracy magisterskiej ”Węgiel brunatny modyfikowany azotem jako prekursor węgla aktywnych”

Promotor: prof. dr hab. Helena Wachowska

uzyskany tytuł zawodowy – magister chemii – 11 czerwca 2004 r.

### 1.2 Przebieg pracy zawodowej

01.10.2010 – obecnie: adiunkt, Pracownia Chemii Stosowanej, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

01.10.2008 – 30.09.2010: adiunkt, Zakład Chemii i Technologii Węgla, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

### 1.3. Uprawiana dziedzina, dyscyplina i specjalność naukowa

Dziedzina: nauki chemiczne

Dyscyplina: chemia

Specjalność: materiały węglowe, modyfikacja węgla aktywnych i nanorurek węglowych, adsorpcja zanieczyszczeń gazowych i ciekłych

## 2. Wykaz publikacji wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej

### [H-1] Piotr Nowicki, Robert Pietrzak

Carbonaceous adsorbents prepared by physical activation of pine sawdust and their application for removal of NO<sub>2</sub> in dry and wet conditions

Bioresource Technology – 2010, 101, 5802-5807

IF = 4,494; (5-letni IF = 5,330); punkty MNiSW: 45

*Wkład osobisty – 85 %: opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, przeprowadzenie procesu aktywacji, oznaczenie właściwości kwasowo-zasadowych otrzymanych materiałów węglowych, przeprowadzenie testów adsorpcyjnych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.*

### [H-2] Piotr Nowicki, Marta Supłat, Jacek Przepiórski, Robert Pietrzak

NO<sub>2</sub> removal on adsorbents obtained by pyrolysis and physical activation of corrugated cardboard

Chemical Engineering Journal – 2012, 195 – 196, 7-14

IF = 4,321; (5-letni IF = 4,621); punkty MNiSW: 45

*Wkład osobisty – 55 %: opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy prowadzeniu karbonizacji i aktywacji, wykonanie części testów adsorpcyjnych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.*

### [H-3] Piotr Nowicki, Magdalena Skrzypczak, Robert Pietrzak

Effect of activation method on the physicochemical properties and NO<sub>2</sub> removal abilities of sorbents obtained from plum stones (*Prunus domestica*)

Chemical Engineering Journal – 2010, 162, 723-729

IF = 4,321; (5-letni IF = 4,621); punkty MNiSW: 45

*Wkład osobisty – 60 %: opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, przeprowadzenie części testów adsorpcyjnych, udział w dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.*

### [H-4] Piotr Nowicki, Helena Wachowska, Robert Pietrzak

Active carbons prepared by chemical activation of plum stones and their application in removal of NO<sub>2</sub>

Journal of Hazardous Materials – 2010, 181, 1088-1094

IF = 4,529; (5-letni IF = 5,277); punkty MNiSW: 45

*Wkład osobisty – 70 %: opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, przeprowadzenie części procesów karbonizacji i aktywacji, przeprowadzenie części testów adsorpcyjnych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami, korespondencja z edytorem.*

**[H-5] Justyna Kaźmierczak, Piotr Nowicki, Robert Pietrzak**

Sorption properties of activated carbons obtained from corn cobs by chemical and physical activation

Adsorption – Journal of the International Adsorption Society – 2013, 19(2-4), 273-281

IF = 1,771; (5-letni IF = 1,848); punkty MNiSW: 25

*Wkład osobisty – 60 %: opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy prowadzeniu karbonizacji i aktywacji, przeprowadzenie części testów adsorpcyjnych, wykonanie części oznaczeń zawartości grup tlenowych dla otrzymanych materiałów węglowych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.*

**[H-6] Piotr Nowicki, Justyna Kazmierczak, Robert Pietrzak**

Comparison of physicochemical and sorption properties of activated carbons prepared by physical and chemical activation of cherry stones

Powder Technology – 2015, 269, 312-319

IF = 2,349; (5-letni IF = 2,437); punkty MNiSW: 30

*Wkład osobisty – 60 %: opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy prowadzeniu karbonizacji i aktywacji, przeprowadzenie części testów adsorpcyjnych, wykonanie części oznaczeń zawartości grup tlenowych dla otrzymanych materiałów węglowych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.*

**[H-7] Piotr Nowicki, Justyna Kazmierczak-Razna, Robert Pietrzak**

Physicochemical and adsorption properties of carbonaceous sorbents prepared by activation of tropical fruit skins with potassium carbonate

Materials and Design – 2016, 90, 579-585

IF = 3,501; (5-letni IF = 3,626); punkty MNiSW: 35

*Wkład osobisty – 80 %: opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, przeprowadzenie procesu aktywacji chemicznej, oznaczenie właściwości kwasowo-zasadowych otrzymanych materiałów węglowych, przeprowadzenie większości testów adsorpcyjnych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.*

**[H-8] Piotr Nowicki**

The effect of mineral matter on the physicochemical and sorption properties of brown coal-based activated carbons

Adsorption – Journal of the International Adsorption Society – 2016, 22(4-6) 561-569

IF = 1,771; (5-letni IF = 1,848); punkty MNiSW: 25

*Wkład osobisty – 100 %: opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, wykonanie całej części eksperymentalnej, przeprowadzenie testów adsorpcyjnych, interpretacja i dyskusja wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami, korespondencja z edytorem.*

**[H-9] Piotr Nowicki**

Effect of heat treatment on the physicochemical properties of nitrogen-enriched activated carbons

Journal of Thermal Analysis and Calorimetry – DOI 10.1007/s10973-016-5254-8

IF = 2,042; (5-letni IF = 1,750); punkty MNiSW: 20

*Wkład osobisty – 100 %: opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, wykonanie całej części eksperymentalnej, interpretacja i dyskusja wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami, korespondencja z edytorem.*

Sumaryczny IF dla 9 publikacji według bazy JCR = **29,099**

Sumaryczny IF 5-letni dla 9 publikacji według bazy JCR = **31,358**

Średni IF/5-letni IF dla 9 publikacji = **3,233/3,484**

Sumaryczna wartość punktów MNiSW dla 9 publikacji = **315**

Średnia ilość punktów MNiSW = **35**

Średni wkład osobisty = **74,4%**

Łączna liczba cytowań prac z cyklu (bez autocytowań) = **60**



### **3. Omówienie najważniejszych osiągnięć zawartych w pracach stanowiących podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego**

Przedstawiona rozprawa habilitacyjna zatytułowana „**Badanie właściwości fizykochemicznych oraz ocena zdolności sorpcyjnych adsorbentów węglowych otrzymanych z materiałów odpadowych i niskiej jakości węgla brunatnych**” obejmuje cykl 9 publikacji oznaczonych dalej symbolami [H-1] – [H-9]. Każdy z artykułów opisuje oryginalne badania dotyczące otrzymywania adsorbentów węglowych z różnego rodzaju odpadów rolniczych i przemysłowych oraz węgla brunatnych o wysokiej zawartości substancji mineralnej, a ponadto oceny ich właściwości fizykochemicznych i zdolności sorpcyjnych wobec zanieczyszczeń gazowych i/lub ciekłych.

Niniejsze opracowanie stanowi jedynie zwięzłą charakterystykę badań opisanych w publikacjach [H-1] – [H-9]. Oryginalne publikacje, zawierające zarówno opis metodologii, jak i szczegółowe dane liczbowe, rysunki i tabele zostały zamieszczone w **Załączniku 4**.

#### **3.1 Wprowadzenie i cel rozprawy habilitacyjnej**

Zwiększona emisja gazów toksycznych do atmosfery ziemskiej będąca konsekwencją gwałtownego rozwoju przemysłu oraz postępu cywilizacji stanowi obecnie bardzo poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Szczególnie niebezpiecznymi są gazy emitowane zarówno na skutek spalania paliw kopalnych w elektrowniach, elektrociepłowniach i wszelkiego rodzaju zakładach przemysłowych, jak również przez drastycznie wzrastającą liczbę pojazdów silnikowych. Do gazów tych należy zaliczyć przede wszystkim tlenki węgla, azotu i siarki oraz w mniejszym stopniu siarkowodór i lotne związki organiczne. Wiele z tych substancji przyczynia się między innymi do powstawania efektu cieplarnianego, smogu fotochemicznego, tzw. kwaśnych deszczy oraz niszczenia warstwy ozonowej. Nic więc dziwnego, że rozwiązanie tego problemu jest nieustannie tematem licznych badań naukowych prowadzonych na całym świecie [1-10]. W chwili obecnej ograniczenie emisji zanieczyszczeń gazowych opiera się na dwóch zasadniczych sposobach. Pierwszy z nich obejmuje wdrażanie do praktyki przemysłowej nowych, wysokoefektywnych technologii opierających się na jak najbardziej optymalnym doborze surowców, stosowaniu tzw. „czystych paliw”, zmian

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

konstrukcyjnych w budowie palenisk i pozostałych elementów instalacji oraz w miarę możliwości pełnej hermetyzacji procesów technologicznych. Drugi ze sposobów polega na oczyszczaniu gazów odlotowych przy wykorzystaniu do tego celu szeregu metod katalitycznych, absorpcyjnych i adsorpcyjnych.

Równie poważnym zagrożeniem dla środowiska naturalnego, w szczególności dla wód powierzchniowych, gruntowych oraz gleb są zanieczyszczenia ciekłe generowane na skutek drastycznie wzrastającego zużycia środków powierzchniowo czynnych, nawozów sztucznych i różnego rodzaju chemikaliów. Według danych literaturowych [11] w wodach pitnych zidentyfikowano już ponad 800 związków organicznych i nieorganicznych, spośród których wiele nie tylko nie ulega biodegradacji przez długi okres czasu, ale wywiera również mutageny i/lub kancerogeny wpływ na organizmy żywe. Warte podkreślenia jest również fakt, iż nawet niewielkie stężenia wielu z tych związków m.in. barwników organicznych, środków piorących, czy też leków wpływa negatywnie na procesy życiowe organizmów wodnych, dlatego też powinny one być starannie neutralizowane.

Kolejnym wyzwaniem dla szeroko rozumianej ekologii jest problem zagospodarowania nieustannie wzrastającej liczby odpadów. Co roku na składowiska śmieci trafia bowiem kilkadziesiąt milionów ton odpadów – zarówno organicznych, jak i nieorganicznych, produktów życia codziennego oraz działalności przemysłowej i usługowej. Odpady ulegające biodegradacji są najczęściej składowane, spalane bądź też wprowadzane do gleby. Niestety procesy rozkładu odpadów zdeponowanych na składowiskach są bardzo powolne. Co więcej, procesowi rozkładu towarzyszy generowanie znacznych ilości gazów i silnie zanieczyszczonych odcieków. Szacuje się, że emisja metanu ze składowisk stanowi około 30% globalnej emisji tego gazu pochodzącej ze źródeł antropogenicznych. Dlatego też regulacje prawne zmuszają do stopniowej redukcji ilości składowanych odpadów biodegradowalnych, aż do całkowitego zakazu ich składowania. Działania te pozwolą nie tylko wydłużyć czas eksploatacji poszczególnych składowisk, ale również zmniejszyć areał terenów potrzebnych do ich budowy.

Mając na uwadze każde z opisanych powyżej zagrożeń ekologicznych, a także wytyczne Ministerstwa Środowiska zawarte między innymi w dokumencie „Polityka Klimatyczna Polski – Strategie redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2020” [12] (nakazującego ograniczanie ogólnej ilości generowanych materiałów

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

odpadowych, jak również zagospodarowanie odpadów komunalnych ulegających biodegradacji, których dotychczasowa utylizacja odbywała się poprzez spalanie, bądź też składowanie na wysypiskach śmieci), jak również realizację polityki ekologicznej kraju w ramach Konwencji Klimatycznej zobowiązującej do znacznej redukcji emisji gazów cieplarnianych, **zasadniczym celem naukowym przedstawionej rozprawy habilitacyjnej było opracowanie metody syntezy serii efektywnych adsorbentów węglowych z różnego typu odpadów biodegradowalnych i niskiej jakości węgla brunatnych, charakterystyka ich właściwości fizykochemicznych oraz określenie ich przydatności do usuwania różnego rodzaju zanieczyszczeń.**

**Wykorzystanie tego typu materiałów do produkcji adsorbentów węglowych może nie tylko w znacznym stopniu obniżyć ilość odpadów biodegradowalnych trafiających na składowiska, ale przede wszystkim pozwolić na ich przetworzenie w materiały przyjazne środowisku naturalnemu, które po odpowiedniej optymalizacji procesu wytwarzania będzie można zastosować z powodzeniem do usuwania różnego typu zanieczyszczeń zarówno gazowych, jak i ciekłych. Równie istotnym czynnikiem, przemawiającym za podjęciem proponowanej tematyki jest aspekt ekonomiczny.** Użycie materiałów odpadowych jako prekursorów adsorbentów węglowych (w szczególności węgla aktywnych) powinno również wpłynąć na znaczne obniżenie kosztów produkcji, w porównaniu do surowców stosowanych w chwili obecnej na skalę przemysłową, jakimi są przede wszystkim węgle kopalne, drewno i torf oraz w niektórych regionach świata (głównie Azji) łupiny orzechów kokosowych.

**Badania przedstawione w cyklu habilitacyjnym mają również bardzo istotny aspekt poznawczy. Pomimo faktu, iż wykorzystywanie węgla aktywnych i innych adsorbentów węglowych do usuwania zanieczyszczeń gazowych oraz ciekłych jest tematyką znaną i poruszaną w pracach naukowych od dawna, mechanizm adsorpcji wielu toksycznych substancji nie został dotąd do końca poznany.** Co więcej, gwałtowny rozwój wielu gałęzi przemysłu oraz zwiększone zużycie wszelkiego rodzaju chemikaliów przyczyniają się do generowania nowych zagrożeń. W związku z tym, aby zapobiec nadmiernemu zanieczyszczeniu gleby, wód powierzchniowych oraz powietrza nie tylko wprowadza się coraz bardziej restrykcyjne przepisy prawne dotyczące szeroko rozumianej ochrony środowiska, ale również wymusza konieczność opracowania nowych materiałów i technologii pozwalających na

jak najbardziej skuteczne ograniczenie emisji zanieczyszczeń. **Produkcja adsorbentów węglowych z różnego rodzaju materiałów odpadowych doskonale wpisuje się w tego typu działania.**

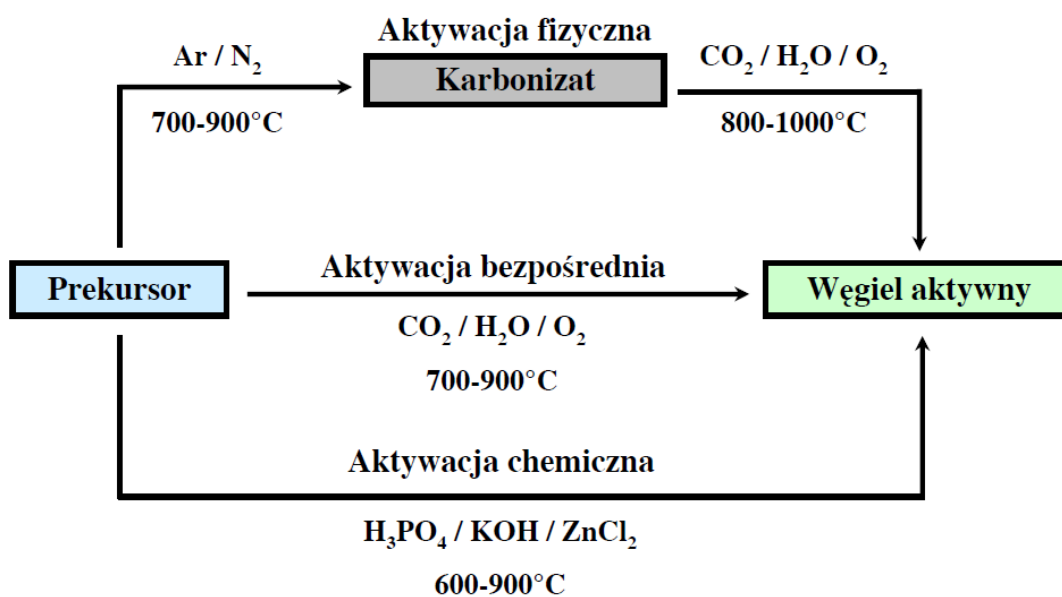
### **3.2 Wytwarzanie węgla aktywnych z materiałów odpadowych i węgla brunatnych o wysokiej zawartości substancji mineralnej, charakterystyka ich właściwości fizykochemicznych oraz ocena zdolności sorpcyjnych wobec zanieczyszczeń gazowych i ciekłych**

Niewątpliwie największym zainteresowaniem spośród technik wykorzystywanych w obecnym czasie do oczyszczania zarówno gazów odlotowych, jak i ścieków jest proces związany z wymianą masy, czyli adsorpcja [11]. W procesach adsorpcyjnych wykorzystuje się bardzo szeroką gamę sorbentów zarówno nieorganicznych, takich jak żele krzemionkowe [13], zeolity [14], sita molekularne [15], tlenek glinu [16] czy też szkła porowate [17], jak również materiały pochodzenia organicznego, wśród których wymienić należy przede wszystkim węgle aktywne [11,18,19], a także w mniejszym stopniu aktywowane włókna węglowe [20], sadze węglowe [21], molekularne sita węglowe [22], nanorurki węglowe [23] oraz uporządkowane węgle mezoporowate [24]. Największe perspektywy otwierają się jednak przed węglami aktywnymi, które mogą być wykorzystywane również jako katalizatory, nośniki katalizatorów czy też czynniki redukujące [18,19,25]. Tak szerokie spektrum wykorzystania węgla aktywnych wynika z ich unikalnych właściwości fizykochemicznych, jak również relatywnie niskiego kosztu ich produkcji, bogatej bazy surowcowej i stosunkowo łatwej utylizacji zużytego materiału.

Terminem „węgle aktywne” określa się grupę materiałów węglowych o silnie rozwiniętej powierzchni właściwej i rozbudowanej strukturze porowatej, na którą składają się pory o różnej wielkości i kształcie [26]. Głównym składnikiem budulcowym tego typu materiałów jest węgiel pierwiastkowy, którego zawartość waha się z reguły w przedziale 85-95% wagowych. Pozostałą część stanowią heteroatomy takie jak wodór, azot, siarka i tlen (w postaci różnego rodzaju grup funkcyjnych) oraz substancja mineralna w formie tlenków i węglanów różnych metali [27,28]. Zarówno rodzaj wytworzonej struktury porowatej, jak również zawartość poszczególnych składników w strukturze węgla aktywnych zależy w znacznym stopniu od rodzaju użytego prekursora, metody jego aktywacji oraz ewentualnych modyfikacji chemicznych, np. utleniania czy też wzbogacania w azot [29].

Jak wspomniano już wcześniej, prekursorami węgla aktywnych wykorzystywanymi na skalę przemysłową są przede wszystkim węgle kopalne o różnym stopniu metamorfizmu (poczynając od węgla brunatnych [30], a na antracytach kończąc [31]), a także drewno [32], torf [33] i łupiny kokosów [34]. W literaturze przedmiotu można jednak znaleźć ogromną liczbę doniesień na temat otrzymywania węgla aktywnych poprzez aktywację różnego rodzaju materiałów odpadowych, zarówno pochodzenia roślinnego np. słoma, pestki owoców, łupiny orzechów [35,36], jak i przemysłowego np. zużyte opony, tworzywa sztuczne, żywice syntetyczne, szlam osadowy z oczyszczalni ścieków [6,37-39].

Produkcja przemysłowa węgla aktywnych, jak również ich wytwarzanie na skalę laboratoryjną opierają się na jednym z dwóch podstawowych mechanizmów, tj. aktywacji fizycznej oraz chemicznej (Rys. 1).



Rysunek 1. Schemat otrzymywania węgla aktywnych.

Aktywacja fizyczna, nazywana również termiczną, jest na ogół procesem dwuetapowym obejmującym karbonizację (pirolizę) prekursora, czyli wysokotemperaturową obróbkę materiału wyjściowego w atmosferze gazu obojętnego, a następnie aktywację otrzymanego karbonizatu w temperaturze około 800-1000°C przy pomocy takich utleniaczy jak: para wodna, ditlenek węgla oraz tlen. Znany jest również wariant aktywacji fizycznej, w którym obydwie wspomniane powyżej etapy zachodzą w tym samym czasie, nazywany aktywacją bezpośrednią [26-28].

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Aktywacja chemiczna, w przeciwieństwie do fizycznej jest procesem jednoetapowym, podczas którego zaimpregnowany lub wymieszany z czynnikiem aktywującym prekursor jest poddawany obróbce termicznej w atmosferze gazu obojętnego. Najczęściej używanymi czynnikami aktywującymi są chlorek cynku, kwas fosforowy(V) oraz wodorotlenki i węglany potasu lub sodu. Zdecydowanie większa reaktywność wymienionych czynników aktywujących umożliwia pominięcie etapu karbonizacji, a ponadto pozwala obniżyć temperaturę oraz skrócić czas trwania procesu. Zasadniczą wadą aktywacji chemicznej jest jednak jej wysoki koszt związany zarówno z korozyjnością stosowanych aktywatorów, jak również koniecznością wprowadzenia dodatkowego etapu obróbki węgla, tj. przemywania produktu końcowego w celu usunięcia nadmiaru czynnika aktywującego oraz produktów ubocznych [26].

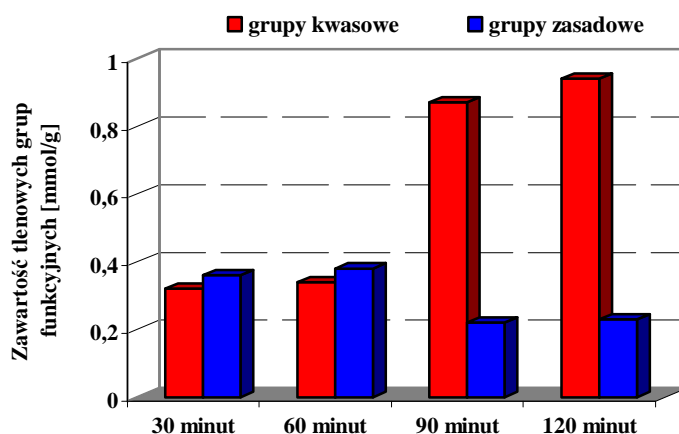
Jak wspomniano wcześniej, właściwości fizykochemiczne węgla aktywnych zmieniają się w znacznym zakresie w zależności od rodzaju użytego do ich produkcji materiału wyjściowego, metody jego aktywacji oraz parametrów czasowo-temperaturowych poszczególnych etapów obróbki termochemicznej. Dlatego też w trakcie realizacji badań opisanych w cyklu habilitacyjnym, do produkcji adsorbentów węglowych wykorzystano 11 prekursorów, stosując przy tym różnorodne warianty ich aktywacji.

W pracy [H-1] opisane zostały badania dotyczące otrzymywania węgla aktywnych na drodze aktywacji trocin uzyskanych z obróbki drewna sosnowego oraz ich potencjalnego wykorzystania w procesie usuwania  $\text{NO}_2$  z gazów odlotowych. Do produkcji adsorbentów węglowych wykorzystano mało popularną w ostatnim czasie aktywację bezpośrednią, pomimo faktu, iż jest to proces bardzo korzystny zarówno pod względem ekonomicznym jak i ekologicznym w porównaniu do tradycyjnej dwuetapowej aktywacji fizycznej. Według dostępnej wiedzy literaturowej jest to pierwszy przypadek wykorzystania tego wariantu aktywacji w preparatyce adsorbentów z trocin sosnowych i ich jednoczesnego wykorzystania do usuwania gazów toksycznych, co potwierdza oryginalny i nowatorski charakter niniejszych badań. Wcześniejsze doniesienia literaturowe [40] dotyczące sorbentów węglowych uzyskanych poprzez pirolizę tego typu materiału potwierdziły jego przydatność do produkcji efektywnych adsorbentów, dlatego też wybór tego prekursora można uznać za jak najbardziej uzasadniony.



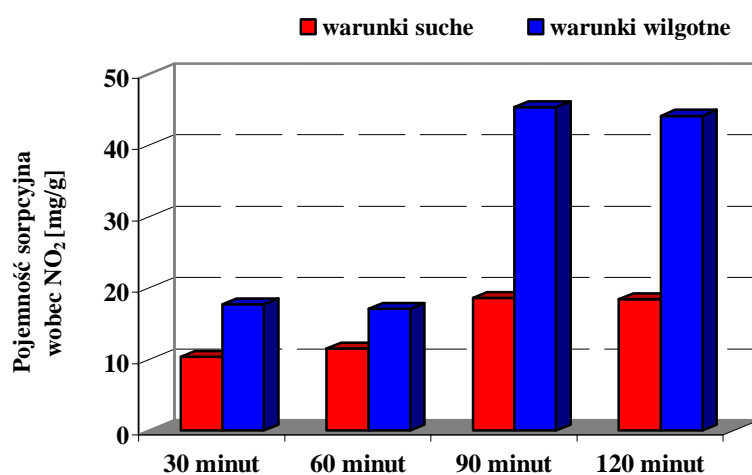
Materiał wyjściowy w postaci peletu poddano obróbce w atmosferze ditlenku węgla, w temperaturze 800°C stosując 4 różne czasy termostatowania, tj. 30, 60, 90 i 120 minut. Z przeprowadzonych badań teksturalnych wynika, że aktywacja bezpośrednia trocin sosnowych prowadzi do otrzymania mikroporowatych adsorbentów o powierzchni właściwej mieszczącej się w przedziale od 140 m<sup>2</sup>/g (dla węgla wygrzewanego przez 30 minut) do 352 m<sup>2</sup>/g (dla analogicznej próbki aktywowanej przez 120 minut). Powierzchnie te są znacznie mniejsze w porównaniu do węgla komercyjnego uzyskiwanego na drodze klasycznej aktywacji fizycznej, których S<sub>BET</sub> (powierzchnia wyznaczona metodą BET) zawiera się zazwyczaj w przedziale 600-1000 m<sup>2</sup>/g. Najbardziej prawdopodobną przyczyną tej sytuacji jest zbyt duże uziarnienie wyjściowego peletu (długość 15 mm, średnica 5 mm), na skutek czego procesowi zgazowania mogły ulec jedynie warstwy powierzchniowe ziaren prekursora.

W celu poznania charakteru kwasowo-zasadowego powierzchni otrzymanych materiałów węglowych oznaczono pH ich wyciągów wodnych oraz zawartość powierzchniowych grup funkcyjnych wytworzonych podczas procesu aktywacji. Wyniki tych oznaczeń wskazują jednoznacznie, iż długość czasu termostatowania próbki w temperaturze końcowej aktywacji ma istotny wpływ na charakter chemiczny wytwarzanych adsorbentów. Wraz z wydłużeniem czasu aktywacji z 30 do 120 minut ilość grup powierzchniowych o charakterze kwasowym wzrasta niemalże trzykrotnie, podczas gdy dla ugrupowań zasadowych zaobserwowano tendencję przeciwną, przy czym intensywność zmian jest znacznie mniejsza (Rys. 2).



Rysunek 2. Wpływ czasu aktywacji trocin na zawartość tlenowych grup funkcyjnych.

Każdy z otrzymanych węgli aktywnych poddano badaniom sorpcyjnym wobec  $\text{NO}_2$  stosując dwa warianty testu, tj. adsorpcję ze strumienia suchego powietrza (warunki suche) oraz powietrza o wilgotności około 70% (warunki wilgotne). Wyniki testów adsorpcyjnych (Rys. 3) wskazują jednoznacznie, iż zdolność pochłaniania  $\text{NO}_2$  ze strumienia gazów zależy w bardzo dużym stopniu zarówno od czasu aktywacji, jak i warunków prowadzenia adsorpcji. Każdy z badanych węgli adsorbuje zdecydowanie więcej ditlenku azotu gdy w strumieniu gazów obecna jest para wodna. Wyniki testów adsorpcyjnych wykazały również, że maksymalną pojemnością sorpcyjną (niezależnie od warunków) charakteryzuje się węgiel aktywowany przez 90 minut, co z praktycznego punktu widzenia oznacza, iż dalsze wydłużanie czasu aktywacji do 120 minut jest nieuzasadnione.



Rysunek 3. Wpływ czasu aktywacji na pojemność sorpcyjną węgla wobec  $\text{NO}_2$ .

Odnosząc wyniki pomiarów sorpcyjnych do parametrów teksturalnych węgla i zawartości grup funkcyjnych stwierdzono, że zdolności sorpcyjne wobec  $\text{NO}_2$  są determinowane w dużej mierze chemią powierzchni otrzymanych adsorbentów, a nie tylko wielkością ich powierzchni właściwej czy całkowitej objętości porów. Wskazuje na to fakt, iż niezależnie od warunków prowadzenia testu adsorpcyjnego, najefektywniejszym adsorbentem okazał się węgiel aktywowany przez 90 minut, charakteryzujący się o  $83 \text{ m}^2/\text{g}$  mniejszą powierzchnią  $S_{\text{BET}}$  i jednocześnie porównywalną ilością kwasowych i zasadowych grup funkcyjnych do węgla wygrzewanego przez okres 120 minut.

Po odcięciu dopływu ditlenku azotu do złoża adsorbenta i jego przepłukiwaniu za pomocą strumienia czystego powietrza, zaobserwowano gwałtowny spadek stężenia



dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

NO<sub>2</sub> w gazach odlotowych sugerujący, że znaczna część pochłoniętego ditlenku azotu uległa chemisorpcji. Trwałe związanie NO<sub>2</sub> z powierzchnią badanych sorbentów zostało potwierdzone w znacznym stopniu przez wyniki analizy elementarnej i badań teksturalnych wykonanych po adsorpcji. Na skutek adsorpcji NO<sub>2</sub> zawartość azotu w strukturze węgla wzrosła bowiem z poziomu 0,2-0,4 % wag. (dla węgla wyjściowych) do 0,7-2,2 % wag., przy czym wzrost ten był proporcjonalny do ilości zaadsorbowanego gazu. Adsorpcja ditlenku azotu przyczyniła się również do drastycznego pogorszenia parametrów teksturalnych węgla, np. w przypadku najskuteczniejszego z adsorbentów powierzchnia S<sub>BET</sub> uległa zmniejszeniu z 269 m<sup>2</sup>/g do 33 i 9 m<sup>2</sup>/g, odpowiednio dla warunków suchych i wilgotnych. Na skutek adsorpcji NO<sub>2</sub> wyraźnym zmianom uległ również charakter chemiczny powierzchni adsorbentów o czym świadczy spadek pH z poziomu 8,1-8,8 dla węgla wyjściowych do 3,9-4,9 (dla warunków suchych) i 2,0-3,8 (w przypadku warunków wilgotnych).

**Rezultaty badań adsorpcyjnych wskazują jednoznacznie, że węgle aktywne uzyskane z trocin drzew iglastych mogą w przyszłości stanowić efektywne adsorbenty zanieczyszczeń gazowych o charakterze kwasowym. Wymaga to jednak dalszej optymalizacji procesu ich wytwarzania.**

W kolejnej z prac stanowiących cykl habilitacyjny [H-2] po raz pierwszy opisano syntezę adsorbentów NO<sub>2</sub> uzyskanych na drodze aktywacji kartonu falistego. Inspiracją do podjęcia tej tematyki był fakt, iż recykling tego powstającego w ogromnych ilościach odpadu jest w pewnym stopniu utrudniony ze względu na jego bardzo skomplikowany skład chemiczny. Karton (tektura) oprócz głównych składników takich jak ścier drzewny i masa celulozowa zawiera również znaczne ilości wypełniaczy mineralnych, klei oraz barwników.

Ze względu na bardzo wysoką zawartość części lotnych w materiale wyjściowym (80,2 % wag.) i zarazem wysoki udział substancji mineralnej (6,6 % wag.) do produkcji adsorbentów węglowych zastosowano proces aktywacji fizycznej. W pierwszej kolejności karton falisty poddano pirolizie w temperaturze 500-800°C stosując dwa warianty czasowe tj. 30 i 60 minut, a następnie aktywacji za pomocą ditlenku węgla w temperaturze 850°C. W wyniku tych działań otrzymano serię 14 adsorbentów węglowych o mikro/mezoporowatym charakterze struktury i silnie zasadowej powierzchni, charakteryzujących się przy tym bardzo wysoką (26,0-61,5 % wag.)

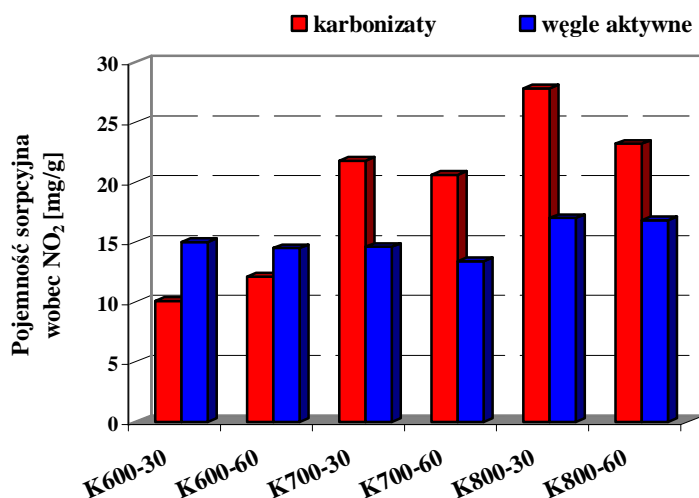
dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

zawartością substancji mineralnej. Zasugerowało to, że mogą one stanowić efektywne adsorbenty zanieczyszczeń o charakterze kwasowym, w tym ditlenku azotu.

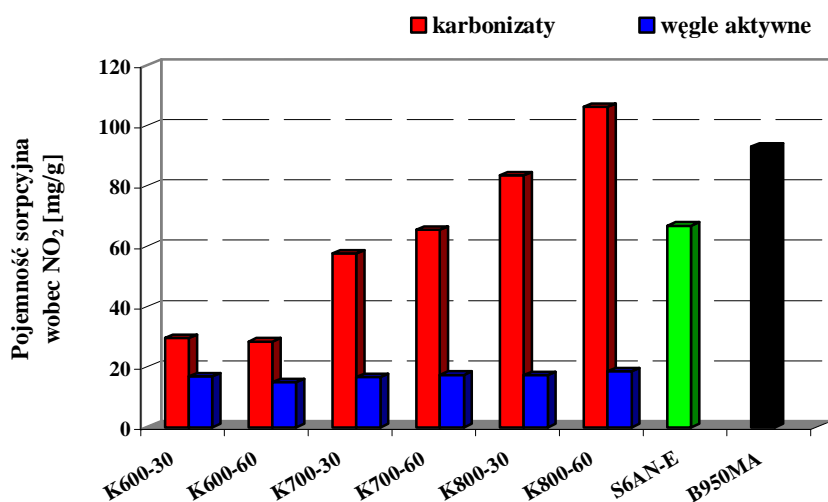
Na podstawie wyników badań teksturalnych stwierdzono, że już sam proces pirolizy kartonu przeprowadzony w temperaturze rzędu 500-800°C pozwala uzyskać adsorbenty o rozwiniętej strukturze porowatej, przy czym dalsza aktywacja produktów pirolizy za pomocą CO<sub>2</sub> pozwala tylko w nieznacznym stopniu zwiększyć ich powierzchnię właściwą. W przypadku próbek wygrzewanych przez 30 minut wzrost temperatury karbonizacji z 500 do 800°C skutkował zwiększeniem powierzchni właściwej z 13 do 243 m<sup>2</sup>/g, podczas gdy dla analogicznych materiałów termostatowanych przez godzinę zaobserwowano wzrost z 58 do 262 m<sup>2</sup>/g. W przypadku próbek uzyskanych przez aktywację poszczególnych karbonizatów wpływ czasu i temperatury pirolizy był znacznie mniejszy. Ponadto wykazano, że rodzaj wytworzonej struktury porowatej także jest uwarunkowany parametrami procesu pirolizy. Dla zdecydowanej większości próbek wraz ze wzrostem temperatury i wydłużeniem czasu karbonizacji, udział mikroporów w całkowitej objętości porów ulega zmniejszeniu, a średni rozmiar porów wyraźnie wzrasta.

Warunki obróbki termochemicznej kartonu falistego mają również istotny wpływ na charakter chemiczny powierzchni uzyskanych adsorbentów. Im wyższa temperatura pirolizy i dłuższy czas wygrzewania próbki, tym większa ilość ugrupowań zasadowych została wygenerowana na powierzchni otrzymanych karbonizatów i węgla aktywnych. Tak wysoki udział ugrupowań o charakterze zasadowym (3,35-8,69 mmol/g) jest konsekwencją wysokiej zawartości substancji mineralnej w strukturze otrzymanych adsorbentów, w szczególności węgla aktywnych. Otrzymane materiały węglowe zawierają na swej powierzchni również kwasowe grupy funkcyjne, jednak ich ilość w zależności od wariantu obróbki materiału wyjściowego waha się w przedziale 0,07-0,87 mmol/g.

Wyniki przedstawione na Rys. 4 i 5 wskazują wyraźnie, że skuteczność usuwania NO<sub>2</sub> przez badane materiały węglowe zależy w bardzo dużym stopniu od wariantu obróbki termochemicznej prekursora, jak również warunków prowadzenia adsorpcji. Podobnie jak to miało miejsce w przypadku węgla uzyskanych z trocin sosnowych [H-1], każdy z badanych materiałów (szczególnie karbonizatów) zaadsorbował więcej ditlenku azotu gdy proces prowadzono w warunkach wilgotnych.



Rysunek 4. Pojemności sorpcyjne karbonizatów i węgla aktywnych otrzymanych z kartonu, uzyskane podczas adsorpcji NO<sub>2</sub> w warunkach suchych (600-800 temperatura karbonizacji [°C]; 30-60 czas karbonizacji [min]).



Rysunek 5. Pojemności sorpcyjne karbonizatów i węgla aktywnych otrzymanych z kartonu, uzyskane podczas adsorpcji NO<sub>2</sub> w warunkach wilgotnych oraz ich porównanie z danymi literaturowymi [41,42].

Szczególnie interesującym jest fakt, iż zdecydowanie bardziej efektywnymi w procesie usuwania NO<sub>2</sub> ze strumienia powietrza okazały się produkty karbonizacji kartonu, niż jego aktywacji. Tak korzystne zdolności sorpcyjne karbonizatów są najprawdopodobniej wypadkową dwóch czynników, a mianowicie wysokiej zawartości substancji mineralnej w strukturze (co ma bezpośrednie przełożenia na silnie zasadowy charakter ich powierzchni) oraz unikalnej struktury porowatej wynikającej z obecności znacznej ilości mikroporów i mezoporów o małej średnicy (2-4 nm) umożliwiającymi efektywne wiązanie cząsteczek NO<sub>2</sub>. Jak wynika z danych literaturowych [6] obecne

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

w substancji mineralnej metale i/lub ich tlenki mogą reagować z cząsteczkami ditlenku azotu tworząc odpowiednie azotany, przyczyniając się tym samym do zwiększenia ilości pochłoniętego gazu. Dodatkowym czynnikiem potęgującym to zjawisko jest obecność pary wodnej w układzie. Na skutek jej reakcji z cząsteczkami NO<sub>2</sub>, obok azotanów, mogą powstawać znaczne ilości kwasu azotowego(V) i (III), co również przekłada się na zwiększoną pojemność sorpcyjną materiałów. Uzyskane dane eksperymentalne pozwalają przypuszczać, iż właśnie taki mechanizm ma miejsce w przypadku badanych adsorbentów. Słuszność tego przypuszczenia potwierdza w pewnym stopniu fakt, iż dwa z uzyskanych karbonizatów wykazują znacznie lepsze zdolności sorpcyjne wobec NO<sub>2</sub> w porównaniu z węglami otrzymanymi poprzez aktywację chemiczną i amoksydację węgla kamiennego [41] oraz porównywalne z materiałami uzyskanymi poprzez wysokotemperaturową obróbkę chemiczną węgla komercyjnego [42], które charakteryzują się znacznie bardziej rozwiniętą powierzchnią właściwą i strukturą porowatą, a zarazem lekko kwasowym lub obojętnym charakterem powierzchni.

**Przeprowadzone badania potwierdziły, że materiały odpadowe takie jak karton (zawierające w swej strukturze znaczne ilości domieszek nieorganicznych) mogą stanowić bardzo dobry materiał wyjściowy do produkcji efektywnych adsorbentów zanieczyszczeń gazowych, zwłaszcza ditlenku azotu. Szczególnie wart podkreślenia jest jednak fakt, iż do otrzymania bardzo skutecznych adsorbentów z tego typu prekursorów wystarczy już sam proces pirolizy, co jest bardzo istotne zarówno z finansowego, jak i proekologicznego punktu widzenia. Oczywiście należy uprzednio odpowiednio zoptymalizować parametry procesu wytwarzania adsorbentów pod kątem konkretnego zastosowania.**

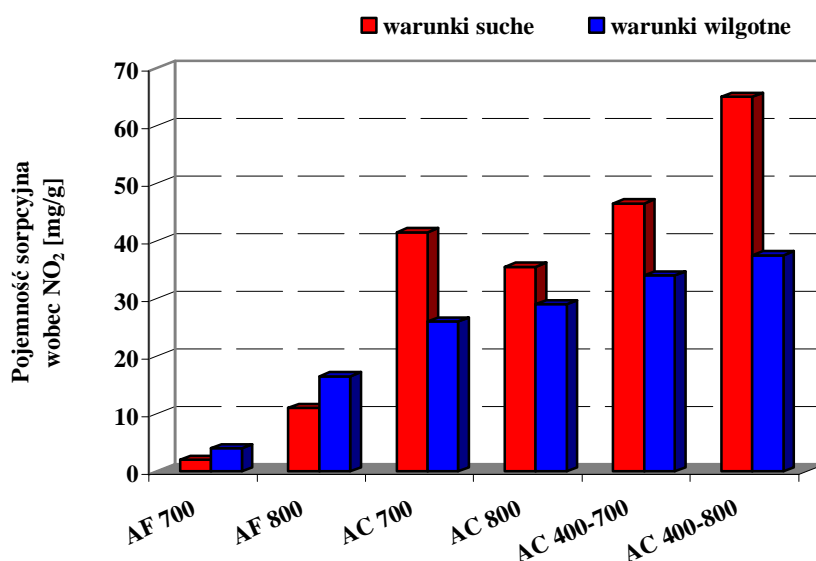
W kolejnym etapie badań, opisanym w pracach [H-3] i [H-4], jako prekursor do wytwarzania adsorbentów węglowych zostały wykorzystane pestki śliwy domowej *Prunus domestica*. Ze względu na wysoką zawartość części lotnych i niski stopień uwęglenia materiału wyjściowego w pierwszej kolejności poddano go procesowi karbonizacji w temperaturze 400°C, co miało na celu zwiększenie zarówno stopnia uporządkowania struktury węglowej, jak również wydajności procesu aktywacji. Otrzymany karbonizat poddano następnie klasycznej aktywacji fizycznej za pomocą ditlenku węgla w temperaturze 700 i 800°C oraz dwóm wariantom aktywacji chemicznej za pomocą wodorotlenku potasu, także w temperaturze 700 i 800°C [H-3].

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Pierwszy sposób obróbki termochemicznej polegał na termostataowaniu karbonizatu zmieszanego ze stałym KOH w końcowej temperaturze procesu tj. 700 i 800°C przez okres 30 minut. Drugim i zarazem nowatorskim rozwiązaniem było ogrzewanie karbonizatu w obecności czynnika aktywującego od temperatury karbonizacji do właściwej temperatury aktywacji, a następnie jego wygrzewanie przez okres 30 minut.

Przeprowadzone badania wykazały, że właściwości fizykochemiczne otrzymanych adsorbentów węglowych zależą przede wszystkim od wyboru metody aktywacji, jednak temperatura procesu i sposób ogrzewania próbki mają również bardzo istotny wpływ. Pomimo, iż każdy z uzyskanych adsorbentów wykazuje wybitnie mikroporowaty charakter tekstury (udział mikroporów od 94 do 98%), to jednak węgle otrzymane poprzez aktywację chemiczną pestek śliwy (szczególnie te ogrzewane z narostem temperatury) charakteryzują się około 5-krotnie silniej rozwiniętą powierzchnią właściwą, niż analogiczne węgle aktywowane za pomocą CO<sub>2</sub>. Istotne różnice dostrzeżono również w charakterze chemicznym adsorbentów. Węgale aktywowane za pomocą KOH wykazują bowiem lekko kwasowy lub obojętny charakter powierzchni, podczas gdy dla węgla uzyskanych na drodze aktywacji fizycznej ma ona charakter lekko zasadowy. Wykazano również, iż materiały aktywowane wodorotlenkiem potasu charakteryzują się około dwukrotnie większą zawartością tlenowych grup funkcyjnych na swej powierzchni i jednocześnie wyraźną przewagą ugrupowań o charakterze kwasowym, podczas gdy dla analogicznych węgla aktywowanych ditlenkiem węgla obserwuje się porównywalną ilość grup kwasowych i zasadowych.

Największe zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi materiałami zaobserwowano jednak w przypadku ich zdolności sorpcyjnych wobec NO<sub>2</sub> (Rys. 6). Najmniej efektywnym adsorbentem okazał się węgiel aktywowany fizycznie w temperaturze 700°C, który pochłaniał niewielkie ilości ditlenku azotu niezależnie od warunków sorpcji. Podwyższenie temperatury aktywacji fizycznej o 100°C spowodowało co prawda wyraźną poprawę zdolności sorpcyjnych wobec ditlenku azotu, jednak pojemności sorpcyjne węgla aktywowanych chemicznie okazały się aż 4-6 krotnie wyższe podczas adsorpcji NO<sub>2</sub> w warunkach suchych i około dwukrotnie wyższe gdy adsorpcja była prowadzona ze strumienia wilgotnego powietrza.



Rysunek 6. Pojemności sorpcyjne węgla aktywnych otrzymanych z pestek śliwy, uzyskane podczas adsorpcji  $\text{NO}_2$  w warunkach suchych i wilgotnych (AF - aktywacja fizyczna, AC - aktywacja chemiczna, 700/800 temp. aktywacji [ $^{\circ}\text{C}$ ]; 400-700/800 - aktywacja z narostem temperatury).

Warto również zauważyć, że w przeciwieństwie do adsorbentów opisanych w pracach [H-1] i [H-2], jak również węgla otrzymanych poprzez aktywację fizyczną pestek śliwy, materiały uzyskane poprzez aktywację chemiczną (niezależnie od wariantu ogrzewania i temperatury aktywacji) wykazują zdecydowanie lepsze zdolności sorpcyjne wobec ditlenku azotu podczas adsorpcji w warunkach suchych, co sugeruje, że adsorpcja  $\text{NO}_2$  na węglach aktywowanych za pomocą KOH przebiega według innego mechanizmu. Analiza krzywych desorpcyjnych w warunkach suchych wykazała, że w przypadku węgla aktywowanego chemicznie po odcięciu dopływu ditlenku azotu do złoża adsorbenta i jego przepłukiwaniu za pomocą strumienia czystego powietrza nie obserwuje się gwałtownego spadku stężenia  $\text{NO}_2$  jak miało to miejsce dla omawianych dotąd adsorbentów, lecz utrzymuje się ono na poziomie 10-15 ppm nawet po 30 minutach. Fakt ten świadczy o tym, że znaczna część pochłoniętego  $\text{NO}_2$  uległa fizysoadsorpcji w strukturze porowatej węgla i jest sukcesywnie uwalniana w trakcie przepłukiwania złoża. W przypadku warunków wilgotnych przebieg krzywych desorpcyjnych jest zupełnie inny i odpowiada obserwowanemu wcześniej dla adsorbentów uzyskanych z trocin i kartonu.

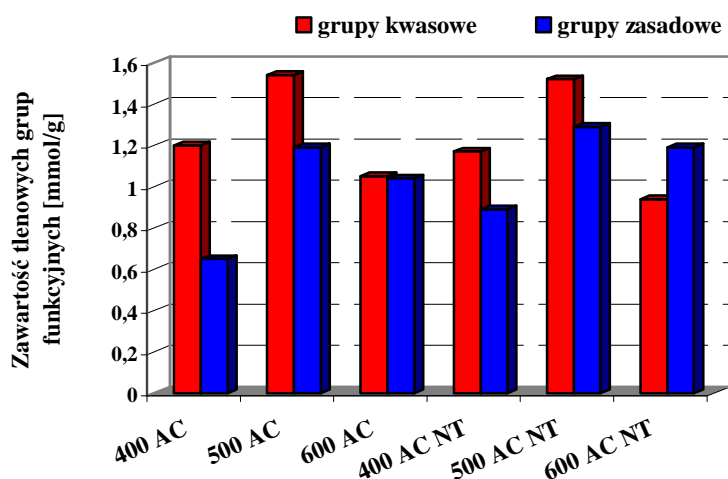
Zmiany parametrów teksturalnych oraz charakteru kwasowo-zasadowego po procesie adsorpcji  $\text{NO}_2$  również potwierdziły istotne zróżnicowanie pomiędzy węglami uzyskanymi poprzez aktywację fizyczną i chemiczną pestek śliwy. Dla każdego

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

z badanych materiałów węglowych na skutek adsorpcji ditlenku azotu nastąpił drastyczny spadek powierzchni właściwej i całkowitej objętości porów (proporcjonalny do ilości pochłoniętego gazu). Zmiany w strukturze porowatej miały jednak nieco inny charakter. Świadczy o tym fakt, że w przypadku węgla aktywowanych KOH średni rozmiar porów po adsorpcji NO<sub>2</sub> uległ zmniejszeniu (szczególnie dla próbek aktywowanych w temperaturze 800°C), podczas gdy dla węgla aktywowanych CO<sub>2</sub> obserwowano jego wyraźny wzrost. Ponadto w przypadku węgla aktywowanych fizycznie po procesie adsorpcji zaobserwowano znaczny wzrost zawartości grup funkcyjnych o charakterze zasadowym, podczas gdy dla analogicznych węgla aktywowanych chemicznie nastąpił wyraźny spadek lub też całkowity zanik ich udziału.

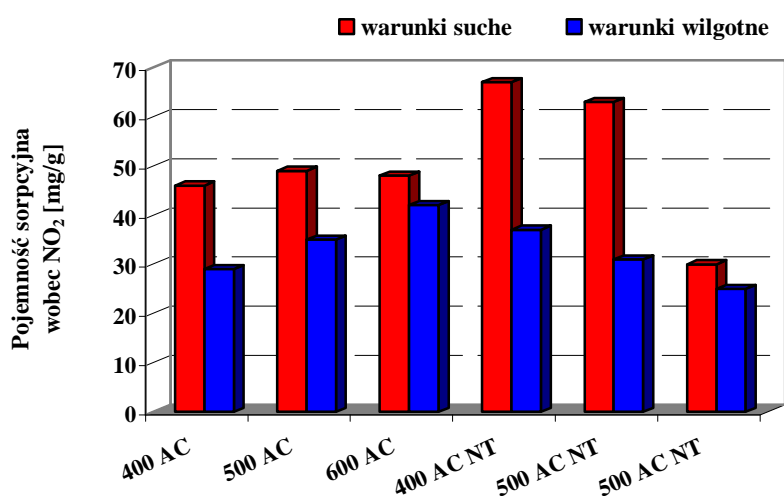
Ponieważ węgle aktywowane fizycznie nie wykazywały dobrych zdolności sorpcyjnych wobec ditlenku azotu w dalszej części badań podjęto próbę optymalizacji wytwarzania sorbentów z pestek śliwy jedynie na drodze aktywacji chemicznej, a ich wyniki przedstawiono w pracy [H-4]. W tym celu pestki śliwy poddano karbonizacji w dwóch dodatkowych wariantach termicznych tj. 500 i 600°C, a następnie aktywacji chemicznej za pomocą KOH, w warunkach analogicznych jak w pracy [H-3]. Uzyskano w ten sposób 4 węgle aktywne o bardzo silnie rozwiniętej powierzchni właściwej ( $S_{\text{BET}}$  od 2409 do 3228 m<sup>2</sup>/g) i wybitnie mikroporowatej strukturze (udział mikroporów na poziomie 96-98%), przy czym najbardziej korzystne parametry teksturalne wykazywały węgle otrzymane z pestek poddanych pirolizie w temperaturze 600°C, szczególnie próbka ogrzewana z narostem temperatury podczas aktywacji. Na uwagę zasługuje fakt, że zmiana warunków termicznych pirolizy pozwoliła na otrzymanie węgla aktywnych o odmiennych właściwościach kwasowo-zasadowych (Rys. 7). Węgle otrzymane z pestek poddanych pirolizie w 500°C charakteryzowały się znacznie wyższą zawartością grup kwasowych niż próbki opisane w pracy [H-3], jednak ich przewaga nad ugrupowaniami zasadowymi była wyraźnie mniejsza. Z kolei w przypadku węgla otrzymanych z pestek poddanych pirolizie w temperaturze 600°C, w zależności od wariantu aktywacji obserwowano porównywalną ilość ugrupowań o charakterze kwasowym i zasadowym, a w przypadku węgla ogrzewanego z narostem temperatury nawet lekką przewagę ugrupowań zasadowych.





Rysunek 7. Wpływ temperatury karbonizacji pestek śliwy i wariantu aktywacji na zawartość powierzchniowych tlenowych grup funkcyjnych (400-600 - temperatura karbonizacji [°C], AC - aktywacja chemiczna, AC NT - aktywacja chemiczna z narostem temperatury).

Wyniki testów adsorpcyjnych (Rys. 8) wykazały, że zmiana warunków termicznych procesu karbonizacji wpłynęła w dwojaki sposób na pojemność sorpcyjną otrzymanych węgla aktywnych wobec ditlenku azotu. W przypadku próbek aktywowanych w stałej temperaturze zaobserwowano poprawę zdolności sorpcyjnych, szczególnie podczas adsorpcji w warunkach wilgotnych. Niestety w przypadku węgla aktywowanych z narostem temperatury nastąpił wyraźny spadek skuteczności pochłaniania  $\text{NO}_2$ , zwłaszcza podczas adsorpcji w warunkach suchych. Podobnie jak dla węgla opisanych w pracy [H-3] każdy z otrzymanych materiałów wykazuje znacznie wyższe pojemności sorpcyjne podczas adsorpcji  $\text{NO}_2$  w warunkach suchych.



Rysunek 8. Pojemności sorpcyjne węgla aktywnych otrzymanych poprzez aktywację chemiczną pestek śliwy, uzyskane podczas adsorpcji  $\text{NO}_2$  w warunkach suchych i wilgotnych (400-600 – temperatura karbonizacji [°C], AC - aktywacja chemiczna, AC NT - aktywacja chemiczna z narostem temperatury).



dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Nie zaobserwowano również większych różnic w sposobie wiązania cząsteczek ditlenku azotu ze strukturą węgla aktywnych. W warunkach suchych, po odcięciu dopływu ditlenku azotu do złoża adsorbenta jego stężenie utrzymywało się na poziomie około 10 ppm co oznacza, że znaczna część pochłoniętego  $\text{NO}_2$  została słabo związana ze strukturą porowatą węgla i uległa uwolnieniu podczas przepłukiwania złoża strumieniem czystego powietrza. Z kolei w warunkach wilgotnych odnotowano szybki spadek stężenia  $\text{NO}_2$  sugerujący, że znacznie większa część pochłoniętego gazu uległa chemisorpcji, niż fizyisorpcji.

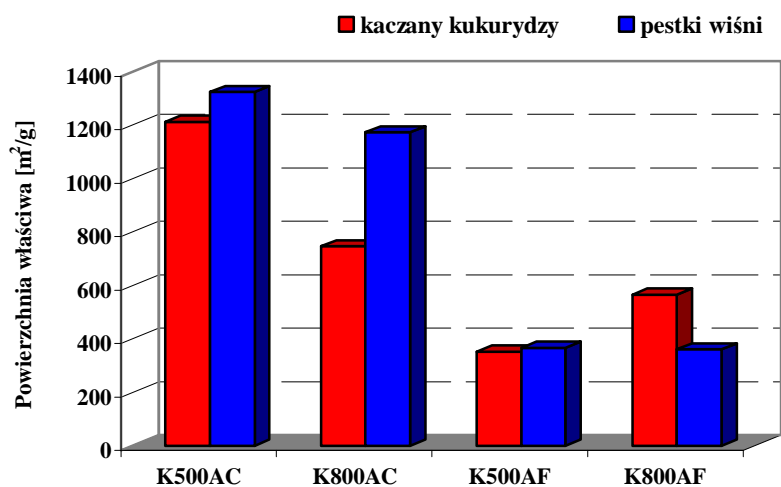
Przeprowadzone badania wykazały również, że w przypadku otrzymanych węgla aktywnych obok adsorpcji ditlenku azotu zachodzi także bardzo niekorzystny z ekologicznego punktu widzenia proces jego redukcji do tlenku azotu. Intensywność redukcji  $\text{NO}_2$  do  $\text{NO}$  jest zdecydowanie większa podczas adsorpcji w warunkach wilgotnych, co może być jedną z przyczyn osiągnięcia znacznie niższych pojemności sorpcyjnych wobec  $\text{NO}_2$ . Powstający w dużych ilościach  $\text{NO}$  może bowiem ulegać konkurencyjnej adsorpcji w porach węgla, a tym samym blokować cząsteczkom ditlenku azotu dostęp do centrów aktywnych obecnych w strukturze adsorbentów.

**Badania przedstawione w pracach [H-1], [H-2], [H-3] i [H-4] wykazały jak istotny wpływ na właściwości fizykochemiczne, a przede wszystkim zdolności sorpcyjne węgla aktywnych wobec  $\text{NO}_2$  ma dobór warunków termicznych poszczególnych procesów technologicznych i wariantu aktywacji. Potwierdziły one również konieczność indywidualnego podejścia do każdego z wykorzystywanych do tego celu prekursorów.**

W kolejnym etapie badań, opisanym w pracach [H-5] i [H-6], jako prekursorzy do wytwarzania adsorbentów węglowych zostały wykorzystane pestki wiśni oraz kaczany kukurydzy, których ilości w ostatnim czasie znacząco wzrastają ze względu na dynamiczny rozwój rolnictwa. W porównaniu do prac [H-1] - [H-4] zakres badań został poszerzony o określenie zdolności sorpcyjnych otrzymanych węgla aktywnych wobec siarkowodoru oraz zanieczyszczeń ciekłych, na przykładzie dwóch związków modelowych - jodu i błękitu metylenowego. Zgodnie z posiadaną wiedzą są to pierwsze doniesienia na temat wykorzystania tych prekursorów do produkcji adsorbentów  $\text{NO}_2$  i  $\text{H}_2\text{S}$ . W celu opracowania materiałów o jak najbardziej optymalnych parametrach fizykochemicznych i sorpcyjnych każdy z prekursorów został w pierwszej kolejności

poddany karbonizacji w dwóch temperaturach tj. 500 i 800°C, a następnie aktywacji fizycznej za pomocą CO<sub>2</sub> oraz aktywacji chemicznej za pomocą KOH.

Przeprowadzone badania teksturalne (Rys. 9) wykazały, że decydujący wpływ na efektywność procesu kształtowania struktury porowatej adsorbentów ma metoda aktywacji. Nie mniej wybór prekursora oraz warunków jego pirolizy ma również istotne znaczenie. Najsilniej rozwiniętą powierzchnią właściwą i strukturą porowatą spośród wszystkich materiałów charakteryzują się węgle uzyskane przez aktywację chemiczną pestek wiśni i kaczanów kukurydzy poddanych karbonizacji w temperaturze 500°C, których  $S_{\text{BET}}$  jest około 4-krotnie większa niż dla analogicznych próbek uzyskanych na drodze aktywacji fizycznej. Niestety podwyższenie temperatury pirolizy do 800°C spowodowało znaczny wzrost stopnia uporządkowania struktury węglowej, w efekcie czego otrzymane węgle aktywne K800AC (zwłaszcza w przypadku kaczanów kukurydzy) charakteryzują się znacznie mniej korzystnymi parametrami teksturalnymi, niż analogiczne węgle K500AC.

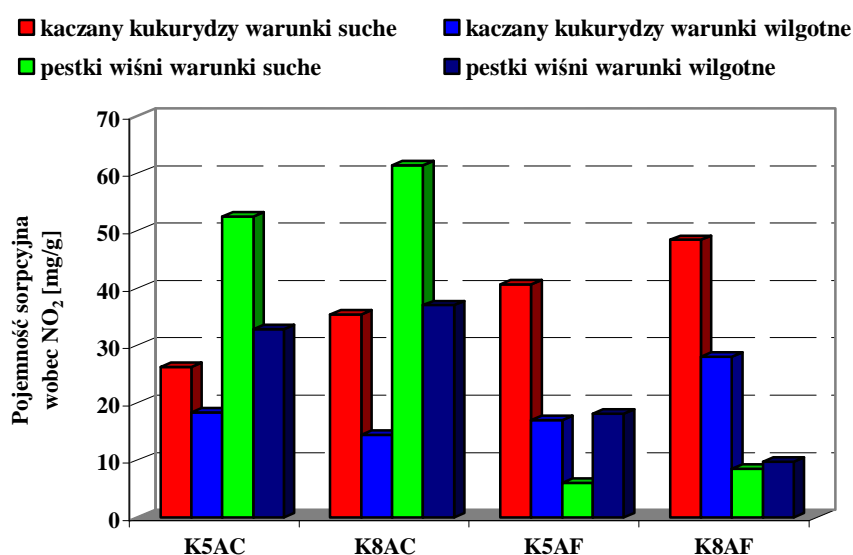


Rysunek 9. Powierzchnia węgla aktywnych otrzymanych poprzez aktywację chemiczną (AC) i fizyczną (AF) kaczanów kukurydzy i pestek wiśni; K500/K800 - temperatura karbonizacji [°C].

Na podstawie pomiarów pH i oznaczeń zawartości powierzchniowych grup funkcyjnych stwierdzono, że poprzez aktywację fizyczną obu prekursorów za pomocą ditlenku węgla otrzymuje się adsorbenty o wyraźnie zasadowym charakterze (nawet bardziej zasadowym niż to miało miejsce w przypadku pestek śliwy [H-3]), zawierające na swej powierzchni prawie wyłącznie zasadowe grupy funkcyjne. Z kolei aktywacja chemiczna za pomocą wodorotlenku potasu prowadzi do otrzymania węgla o lekko

kwasowym charakterze powierzchni, charakteryzujących się wyraźną przewagą ugrupowań kwasowych.

Na podstawie wyników testów adsorpcyjnych (Rys. 10) stwierdzono, że poprzez różne warianty aktywacji pestek wiśni i kaczanów kukurydzy można otrzymać szeroką gamę materiałów o bardzo zróżnicowanych zdolnościach sorpcyjnych wobec  $\text{NO}_2$ . Najskuteczniejszymi adsorbentami (zarówno podczas adsorpcji w warunkach suchych jak i wilgotnych) okazały się węgle otrzymane poprzez aktywację chemiczną pestek wiśni, podczas gdy najniższe pojemności sorpcyjne wykazywał węgiel uzyskany przez aktywację fizyczną tego prekursora.



Rysunek 10. Pojemności sorpcyjne węgla aktywnych otrzymanych poprzez aktywację chemiczną (AC) i fizyczną (AF) kaczanów kukurydzy i pestek wiśni, uzyskane podczas adsorpcji  $\text{NO}_2$  w warunkach suchych i wilgotnych.

Podobnie jak w przypadku węgla uzyskanych z pestek śliwy [H-3], węgle otrzymane przez aktywację chemiczną obu prekursorów wykazują zdecydowanie lepsze zdolności sorpcyjne w warunkach suchych. Z kolei dla materiałów aktywowanych za pomocą ditlenku węgla zaobserwowano nieco inne zależności. Adsorbenty otrzymane z kaczanów kukurydzy w odróżnieniu od dotychczas omawianych materiałów uzyskanych przez aktywację fizyczną [H-1, H-2, H-3], wykazują znacznie lepsze zdolności sorpcyjne podczas usuwania ditlenku azotu w warunkach suchych. Warto również zauważyć, że mimo 4-krotnie mniejszej powierzchni właściwej wykazują one wyższe pojemności sorpcyjne w porównaniu do węgla aktywowanych chemicznie. W przypadku analogicznych próbek uzyskanych z pestek wiśni zaobserwowano

dokładnie przeciwną tendencję, a ich pojemności sorpcyjne są około 10-krotnie niższe niż węgli aktywowanych za pomocą KOH. Przyczyną niższej efektywności usuwania NO<sub>2</sub> w warunkach wilgotnych (podobnie jak dla wcześniej omawianych adsorbentów) jest prawdopodobnie około dwukrotnie większa intensywność redukcji ditlenku azotu do tlenku azotu. Efekt ten jest szczególnie widoczny w przypadku węgla otrzymanych z kaczanów kukurydzy. **Z tego względu dalsza optymalizacja wytwarzania adsorbentów przeznaczonych do usuwania ditlenku azotu z gazów odlotowych powinna obejmować również ograniczenie procesu redukcji w wyniku jego oddziaływania z powierzchnią adsorbentów.**

Otrzymane węgle aktywne przebadano również pod kątem usuwania siarkowodoru ze strumienia powietrza. Sugerując się danymi literaturowymi [43,44], z których wynika, że wytworzenie filmu wodnego na powierzchni adsorbentów węglowych wpływa korzystnie na zdolność wiązania H<sub>2</sub>S w trakcie badań zastosowano dodatkowy wariant testu adsorpcyjnego, a mianowicie uprzednie nawilżenie złoża adsorbenta za pomocą strumienia wilgotnego powietrza bezpośrednio przed właściwym pomiarem sorpcyjnym. Wyniki badań adsorpcyjnych (Tabela 1) wskazują, iż większość z otrzymanych węgla aktywnych charakteryzuje się znacznie mniejszą skutecznością usuwania siarkowodoru niż w przypadku omawianego wcześniej ditlenku azotu. Uzyskane dane wykazały również odmienny wpływ rodzaju prekursora oraz poszczególnych parametrów procesu wytwarzania adsorbentów węglowych na ich zdolności sorpcyjne wobec H<sub>2</sub>S, w porównaniu do NO<sub>2</sub>.

Tabela 1. Pojemności sorpcyjne [mg/g] węgla aktywnych wobec H<sub>2</sub>S uzyskane w warunkach suchych i wilgotnych (KK - kaczany kukurydzy; PW - pestki wiśni; 500/800 - temperatura karbonizacji [°C]; AC - aktywacja chemiczna; AF - aktywacja fizyczna)

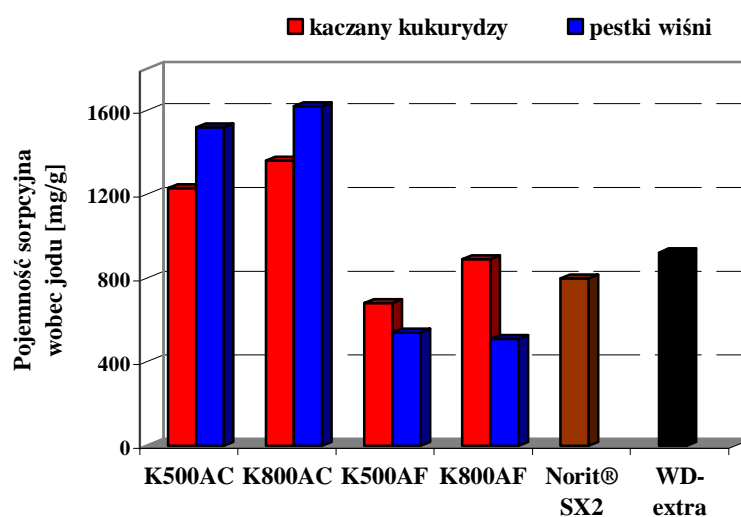
Węgiel aktywny	Warunki suche		Warunki wilgotne	
	bez nawilżania	z nawilżaniem	bez nawilżania	z nawilżaniem
<b>KK500AC</b>	5,0	5,4	6,8	5,0
<b>KK800AC</b>	4,1	6,1	6,3	4,7
<b>KK500AF</b>	16,5	19,7	18,0	10,8
<b>KK800AF</b>	19,5	49,2	45,1	29,4
<b>PW500AC</b>	3,0	10,3	6,7	13,9
<b>PW800AC</b>	3,1	9,2	4,8	9,5
<b>PW500AF</b>	1,4	1,0	1,5	1,3
<b>PW800AF</b>	1,5	0,0	1,1	0,0

Najwyższe pojemności sorpcyjne odnotowano w przypadku węgla KK500AF i KK800AF uzyskanych poprzez aktywację fizyczną kaczanów kukurydzy. Szczególnie wart podkreślenia jest tu fakt, iż wartości te są porównywalne, a nawet przewyższają pojemność materiałów uzyskanych poprzez aktywację fizyczną węgla kamiennego za pomocą CO<sub>2</sub> [45] oraz węgla komercyjnych otrzymanych z torfu i węgla kamiennego [44]. Co ciekawe, analogiczne materiały węglowe uzyskane z pestek wiśni nie wykazywały praktycznie żadnych zdolności do pochłaniania H<sub>2</sub>S ze strumienia gazów (pojemność sorpcyjna < 2 mg/g) niezależnie od warunków adsorpcji. Z kolei w przypadku węgla otrzymanych na drodze aktywacji chemicznej obu prekursorów obserwowano tylko niewielkie różnice pod tym względem, a ich pojemności sorpcyjne mieściły się w przedziale od 3 do 14 mg/g. W przeciwieństwie do adsorpcji NO<sub>2</sub> większość węgla aktywnych wykazywała lepsze zdolności pochłaniania siarkowodoru podczas adsorpcji w warunkach wilgotnych. Wpływ uprzedniego nawilżenia złoża przed procesem adsorpcji był zróżnicowany. Dla każdego z węgla otrzymanych z kaczanów kukurydzy nawilżenie złoża wpłynęło korzystnie na ilość H<sub>2</sub>S pochłoniętego w warunkach suchych. Co więcej, pojemności sorpcyjne węgla KK500AF i KK800AF okazały się wyższe od tych osiąganych w warunkach wilgotnych bez nawilżania. Wynika to najprawdopodobniej z tego, że cząsteczki H<sub>2</sub>S mogły ulec dysocjacji w wytworzonym na powierzchni adsorbenta filmie wodnym, a powstałe jony HS<sup>-</sup> mogły utleniać się do siarki elementarnej, co przełożyło się na zwiększenie ilości pochłoniętego gazu. Co ciekawe, zwilżenie złoża węglowego przed pomiarem w warunkach wilgotnych wpłynęło negatywnie na zdolność sorpcyjną próbek, zwłaszcza w przypadku węgla aktywowanych ditlenkiem węgla. Z kolei w przypadku adsorbentów uzyskanych przez aktywację chemiczną pestek wiśni zaobserwowano wyraźną poprawę zdolności pochłaniania siarkowodoru zarówno podczas adsorpcji w warunkach suchych jak i wilgotnych.

Odnosząc wyniki testów adsorpcyjnych do parametrów teksturalnych węgla, ich charakteru kwasowo-zasadowego i zawartości substancji mineralnej stwierdzono, że najkorzystniej pod względem adsorpcji H<sub>2</sub>S prezentują się węgle o umiarkowanie rozwiniętej powierzchni właściwej, zawierające w swej strukturze kilka procent domieszek nieorganicznych oraz wykazujące zasadowy charakter powierzchni. Niemniej w chwili obecnej trudne jest dokładne określenie wpływu poszczególnych parametrów na mechanizm sorpcji tego gazu toksycznego przez badane materiały

węglowe. Niestety pomocne w tej kwestii nie okazały się również badania próbek po procesie adsorpcji, gdyż dla wszystkich materiałów (podobnie jak w przypadku sorpcji  $\text{NO}_2$ ) zaobserwowano pogorszenie parametrów teksturalnych, wzrost zawartości ugrupowań o charakterze kwasowym i jednoczesny spadek grup zasadowych, które były w pewnym stopniu proporcjonalne do ilości pochłoniętego siarkowodoru. **Na podstawie uzyskanych wyników nasuwa się jednak wniosek, iż odpowiednich prekursorów do produkcji adsorbentów węglowych o bardzo dobrych zdolnościach sorpcyjnych wobec  $\text{H}_2\text{S}$  należy szukać wśród materiałów zawierających w swej strukturze znaczne ilości substancji mineralnej, bądź też jak sugerują wcześniejsze doniesienia literaturowe, wśród materiałów modyfikowanych melaminą [45] lub jonami metali [46-47].**

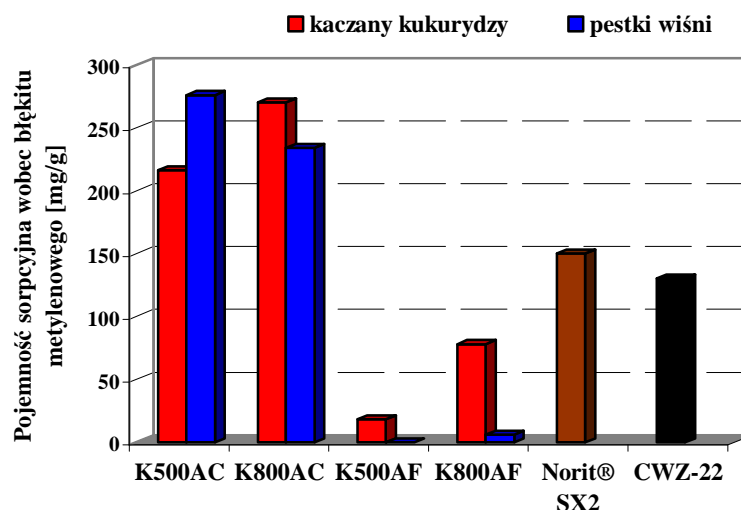
W kolejnym etapie badań adsorbenty otrzymane z kaczanów kukurydzy i pestek wiśni poddano ocenie przydatności do usuwania zanieczyszczeń ciekłych. Wyniki testów adsorpcyjnych (Rys. 11 i 12) wskazują wyraźnie, że część z otrzymanych węgla aktywnych oprócz dobrych zdolności sorpcyjnych wobec gazów toksycznych, wykazuje również bardzo wysoką efektywność w usuwaniu zanieczyszczeń nieorganicznych i organicznych z wody.



Rysunek 11. Porównanie zdolności sorpcyjnych węgla aktywnych otrzymanych poprzez aktywację chemiczną (AC) i fizyczną (AF) kaczanów kukurydzy i pestek wiśni oraz produktów komercyjnych wobec jodu.

Skuteczność usuwania jodu i błękitu metylenowego jest uwarunkowana przede wszystkim wariantem aktywacji, o czym świadczy fakt, że zdecydowanie wyższe pojemności sorpcyjne wobec obu zanieczyszczeń zanotowano w przypadku węgla

otrzymanych poprzez aktywację chemiczną. Jest to konsekwencją ich silnie rozwiniętej struktury porowatej i powierzchni właściwej sprzyjających adsorpcji tego typu zanieczyszczeń [11,18,48,49]. Skuteczność usuwania jodu i błękitu metylenowego z wody jest również w pewnym stopniu uwarunkowana rodzajem użytego prekursora i temperaturą jego pirolizy, jednak wpływ tych parametrów jest zdecydowanie mniejszy.



Rysunek 12. Porównanie zdolności sorpcyjnych węgli aktywnych otrzymanych poprzez aktywację chemiczną (AC) i fizyczną (AF) kaczanów kukurydzy i pestek wiśni oraz produktów komercyjnych wobec błękitu metylenowego.

**Podsumowując wyniki przedstawione w pracach [H-5] i [H-6] można stwierdzić, że zarówno kaczany kukurydzy, jak i pestki wiśni mogą być wykorzystane do produkcji efektywnych adsorbentów węglowych o bardzo szerokim zakresie potencjalnych zastosowań. Na szczególną uwagę zasługuje jednak fakt, iż otrzymane w trakcie badań adsorbenty mogą już teraz z powodzeniem konkurować z dostępnymi na rynku produktami komercyjnymi.**

Zaskakująco wysokie pojemności sorpcyjne uzyskane w przypadku węgli aktywowanych chemicznie stały się główną przesłanką do podjęcia badań opisanych w pracy [H-7], których zasadniczym celem było otrzymanie węgli aktywnych ze skór owoców cytrusowych (banana, grejfruta, mandarynki i pomarańczy olbrzymiej, tzw. pomelo) oraz ocena ich przydatności do usuwania organicznych i nieorganicznych zanieczyszczeń ciekłych. Ze względu na niski stopień uwęglenia i bardzo wysoką zawartość części lotnych w materiałach wyjściowych, jako czynnik aktywujący zastosowano węglan potasu, który jest nieco mniej reaktywny w porównaniu

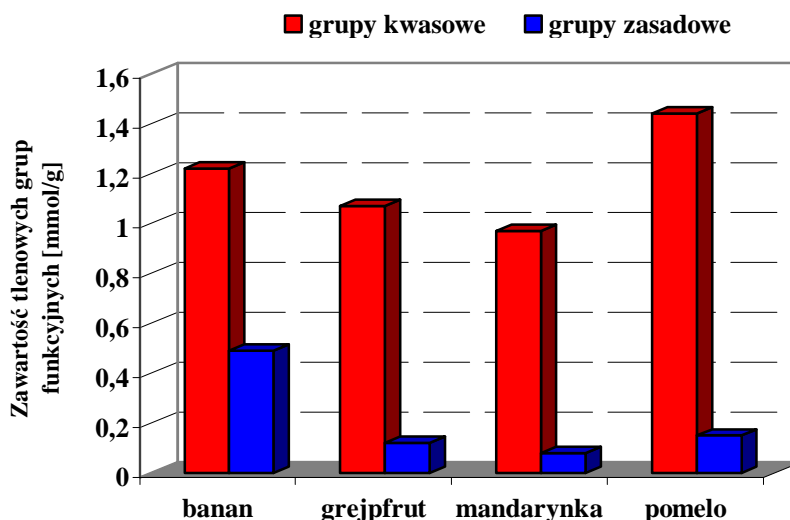


dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

z wodorotlenkiem. W odróżnieniu od wcześniej omówionych prekursorów, do produkcji adsorbentów wykorzystano proces klasycznej aktywacji chemicznej, czyli z pominięciem etapu karbonizacji, a każdy z węgla poddano badaniom sorpcyjnym wobec trzech adsorbatów tj. jodu, błękitu metylenowego i czerwieni metylowej.

Badania teksturalne wykazały, iż aktywacja chemiczna skór owoców cytrusowych za pomocą  $K_2CO_3$  pozwala uzyskać adsorbenty o silnie rozwiniętej powierzchni właściwej ( $836-1198 \text{ m}^2/\text{g}$ ) i mikroporowatym charakterze struktury, ze znacznym udziałem małych mezoporów (26-37%). Największą powierzchnią  $S_{\text{BET}}$  charakteryzował się węgiel otrzymany ze skór grejpfruta, natomiast najmniej korzystnie pod tym względem wypadł węgiel uzyskany ze skór pomelo, który charakteryzował się jednocześnie największym udziałem mezoporów w całkowitej objętości porów.

Każdy z uzyskanych adsorbentów wykazywał dość podobny charakter kwasowo-zasadowy powierzchni - pH od 6,6 do 7,8, mimo to zawartość powierzchniowych grup funkcyjnych o charakterze kwasowym i zasadowym była w dużym stopniu uzależniona od rodzaju użytego prekursora (Rys. 13). Dla każdego z badanych materiałów zaobserwowano jednak wyraźną przewagę ugrupowań kwasowych.



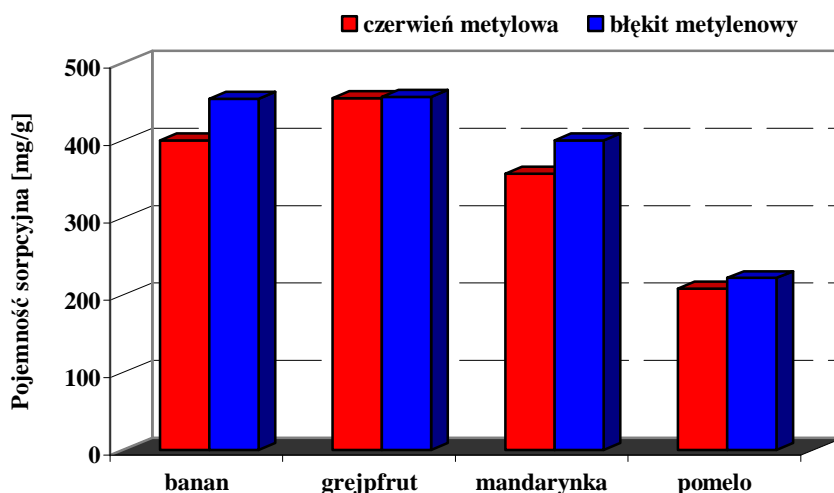
Rysunek 13. Wpływ rodzaju prekursora na zawartość grup funkcyjnych w węglach aktywnych uzyskanych ze skór owoców cytrusowych.

Wyniki testów adsorpcyjnych wykazały, że otrzymane węgle aktywne charakteryzują się bardzo dobrymi zdolnościami sorpcyjnymi zarówno wobec barwników organicznych, jak również jodu. Porównując pojemności sorpcyjne poszczególnych materiałów węglowych z ich parametrami teksturalnymi stwierdzono, że są one ściśle ze sobą powiązane. Najefektywniejszymi adsorbentami wobec



dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

wszystkich adsorbatów okazały się węgle uzyskane z skór banana i grejpfruta charakteryzujące się najsilniej rozwiniętą powierzchnią właściwą (1188 i 1198 m<sup>2</sup>/g), podczas gdy najmniejszą skutecznością usuwania poszczególnych zanieczyszczeń z wody charakteryzował się węgiel uzyskany ze skór pomelo, w przypadku którego pojemność sorpcyjna wobec czerwieni metylowej i błękitu metylenowego była dwukrotnie niższa (Rys. 14), a jego powierzchnia nieznacznie przekraczała 800 m<sup>2</sup>/g. Szczególnie wart podkreślenia jest jednak fakt, iż pojemności sorpcyjne badanych węgla aktywnych okazały się nie tylko wyższe niż dla wcześniej opisanych adsorbentów otrzymanych przez aktywację za pomocą znacznie bardziej reaktywnego aktywatora jakim jest KOH, ale również znacznie przewyższają wyniki uzyskane dla większości produktów komercyjnych.

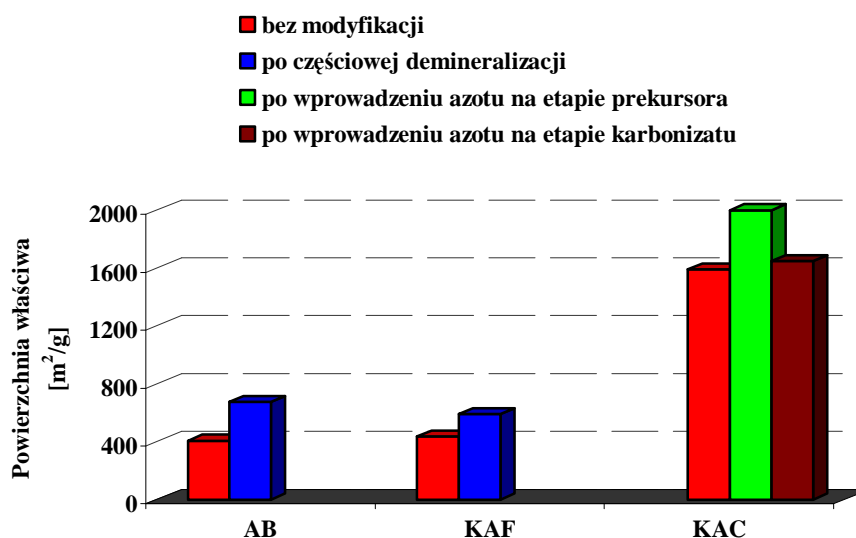


Rysunek 14. Wpływ rodzaju prekursora na zdolności sorpcyjne węgla aktywnych uzyskanych ze skór owoców cytrusowych wobec barwników organicznych.

W kolejnym etapie badań, opisanym w pracach [H-8] i [H-9], jako prekursory do wytwarzania adsorbentów węglowych zostały wykorzystane węgle brunatne o wysokiej zawartości substancji mineralnej (19-25 % wag.). Ze względu na niski stopień uwęglenia, a zarazem wysoki udział domieszek nieorganicznych oraz azotu i siarki, węgle tego typu niezbyt często znajdują zastosowanie w nowoczesnych technologiach przetwórstwa węgla kopalnych, obejmujących między innymi produkcję paliw gazowych i ciekłych czy też pozyskiwanie cennych surowców chemicznych. Dlatego też użycie węgla brunatnych do produkcji węgla aktywnych może stanowić bardzo ciekawą alternatywę dla dotychczasowego sposobu ich zagospodarowania, czyli wykorzystania jako niskiej jakości surowca energetycznego lub opałowego.

Materiały wyjściowe poddano kilku wariantom obróbki termochemicznej, tj. (1) aktywacji bezpośredniej oraz fizycznej za pomocą ditlenku węgla, a następnie częściowej demineralizacji otrzymanych adsorbentów za pomocą kwasu solnego; (2) uprzedniej demineralizacji prekursora za pomocą stęż. HCl i HF, reakcji z mocznikiem, karbonizacji i aktywacji chemicznej za pomocą KOH oraz dodatkowo obróbce cieplnej w atmosferze azotu lub mieszaniny azotu z wodorem. W wyniku tych modyfikacji otrzymano serię 16 adsorbentów o bardzo zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych, poczynając od składu elementarnego, przez parametry teksturalne i właściwości kwasowo-zasadowe, na zdolnościach sorpcyjnych kończąc.

Decydujący wpływ na właściwości fizykochemiczne otrzymanych adsorbentów (podobnie jak dla prekursorów opisanych wcześniej w pracach [H-3], [H-5] i [H-6]) miała przede wszystkim metoda aktywacji. Wpływ pozostałych modyfikacji był mniej istotny. Węgłe otrzymane przez aktywację bezpośrednią i fizyczną węgla brunatnego [H-8] charakteryzowały około 4-krotnie mniejszą powierzchnią właściwą niż materiał uzyskany w wyniku karbonizacji i aktywacji chemicznej [H-9] (Rys. 15). Zarówno usunięcie znacznej części substancji mineralnej ze struktury otrzymanych adsorbentów (w przypadku próbek aktywowanych za pomocą CO<sub>2</sub>), jak również wprowadzenie azotu na etapie prekursora lub karbonizatu poprzez reakcję z mocznikiem (w przypadku węgla aktywowanego KOH) wpłynęło bardzo korzystnie na wielkość powierzchni S<sub>BET</sub>, potęgując różnice pomiędzy poszczególnymi materiałami.



Rysunek 15. Wpływ metody aktywacji i wybranych modyfikacji na wielkość powierzchni właściwej węgla aktywnych uzyskanych z węgla brunatnych (AB - aktywacja bezpośrednia, K - karbonizacja, AF - aktywacja fizyczna, AC - aktywacja chemiczna).

Otrzymane węgle aktywne różniły się także pod kątem rodzaju wytworzonej struktury porowatej. Materiały otrzymane za pomocą ditlenku węgla charakteryzowały się bowiem mikro/mezoporowatą strukturą (udział mikroporów 44-53%), podczas gdy aktywacja za pomocą wodorotlenku potasu prowadziła do uzyskania węgla wybitnie mikroporowatego (udział mikroporów 92-95%). Modyfikacje takie jak usunięcie części substancji mineralnej po aktywacji czy też wygrzewanie węgla aktywnych w atmosferze azotu i/lub wodoru przyczyniły się do pewnych zmian również w tym zakresie prowadząc z reguły do wzrostu udziału mezoporów. Na skutek obróbki termochemicznej węgla po procesie aktywacji (szczególnie w temperaturze 800°C, w atmosferze azotu) znacznemu zmniejszeniu uległy również ich powierzchnie właściwe i objętości całkowite porów. Najbardziej prawdopodobną przyczyną tego zjawiska było wypalenie ścianek pomiędzy częściami sąsiadujących ze sobą mikroporów, bądź też ich poszerzenie do małych mezoporów, na co wskazywał wyraźny wzrost średniego rozmiaru porów.

Otrzymane węgle aktywne różniły się również znacząco pod względem właściwości kwasowo-zasadowych powierzchni. Materiały uzyskane na drodze aktywacji bezpośredniej i fizycznej charakteryzowały się silnie zasadowym charakterem, a na ich powierzchni dominowały zasadowe grupy funkcyjne. Silnie zasadowy charakter tych materiałów węglowych (pH wyciągów wodnych 11,6 i 12,4) był w znacznym stopniu związany z bardzo wysokim udziałem substancji mineralnej w ich strukturze (33,6 i 38,6 % wag.), co potwierdził fakt, że na skutek usunięcia znacznej części substancji mineralnej za pomocą kwasu solnego charakter powierzchni badanych węgla zmienił się diametralnie. Uzyskane w ten sposób węgle zawierały na swej powierzchni około dwukrotnie więcej grup o charakterze kwasowym niż zasadowym, a wartość pH ich wyciągów wodnych wynosiła około 4.

W przypadku węgla uzyskanych w wyniku aktywacji chemicznej również obserwowano wyraźną przewagę ugrupowań kwasowych, przy czym ich ilość była w bardzo dużym stopniu uwarunkowana wariantem modyfikacji zarówno przed, jak i po procesie aktywacji (Tabela 2). Najwięcej grup funkcyjnych (zarówno kwasowych, jak i zasadowych) zawierały na swej powierzchni węgle otrzymane poprzez reakcję węgla brunatnego z mocznikiem, a następnie karbonizację i aktywację modyfikowanego prekursora, podczas gdy najmniej węgle niemodyfikowane azotem na

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

żadnym z etapów ich wytwarzania. Z kolei obróbka termochemiczna węgla po procesie aktywacji spowodowała wyraźny spadek udziału grup funkcyjnych, w szczególności tych o kwasowym charakterze. Co więcej, dla węgla wygrzewanych w temperaturze 800°C, w atmosferze azotu obserwowano tylko niewielką przewagę ugrupowań kwasowych nad zasadowymi.

**Przedstawione wyniki wykazały w jak szerokim zakresie można zmieniać właściwości fizykochemiczne wytwarzanych węgla aktywnych, wykorzystując do tego celu niezbyt skomplikowane modyfikacje termochemiczne, co umożliwia w znacznym stopniu dopasować cechy produktów końcowych pod kątem ich planowanego zastosowania.**

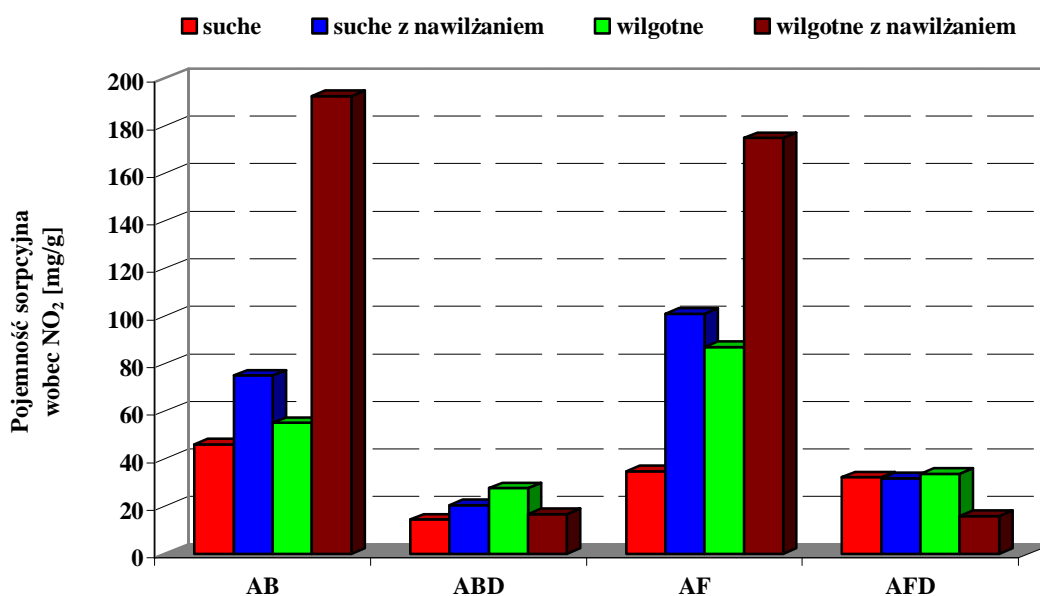
Tabela 2. Wpływ obróbki termochemicznej na zawartość tlenowych grup funkcyjnych [mmol/g] w węglach otrzymanych poprzez aktywację chemiczną węgla brunatnego (K - karbonizacja, A - aktywacja, N - modyfikacja azotem, 600/800 - temperatura wygrzewania w azocie [°C], 600H - temperatura wygrzewania w mieszaninie azotu i wodoru [°C])

<b>Węgiel aktywny</b>	<b>Grupy kwasowe</b>	<b>Grupy zasadowe</b>
<b>KA</b>	1,24	0,70
<b>KA600</b>	1,05	0,42
<b>KA800</b>	0,74	0,49
<b>KA600H</b>	1,12	0,43
<b>NKA</b>	1,72	0,81
<b>NKA600</b>	1,28	0,69
<b>NKA800</b>	0,91	0,75
<b>NKA600H</b>	1,36	0,65
<b>KNA</b>	1,45	0,68
<b>KNA600</b>	1,09	0,51
<b>KNA800</b>	0,81	0,64
<b>KNA600H</b>	1,21	0,57

Biorąc pod uwagę wnioski wyciągnięte na podstawie badań opisanych w pracach [H-2], [H-5] i [H-6] oraz właściwości fizykochemiczne węgla otrzymanych poprzez aktywację bezpośrednią i fizyczną węgla brunatnego [H-8] przeprowadzono testy adsorpcyjne mające na celu ocenę ich przydatności pod kątem usuwania zanieczyszczeń gazowych i ciekłych. Wyniki badań sorpcyjnych (Rys. 16 i 17) potwierdziły jednoznacznie, że węgle brunatne o wysokiej zawartości substancji mineralnej mogą

być z powodzeniem stosowane do produkcji efektywnych adsorbentów ditlenku azotu, a po odpowiedniej optymalizacji procesu wytwarzania, również siarkowodoru.

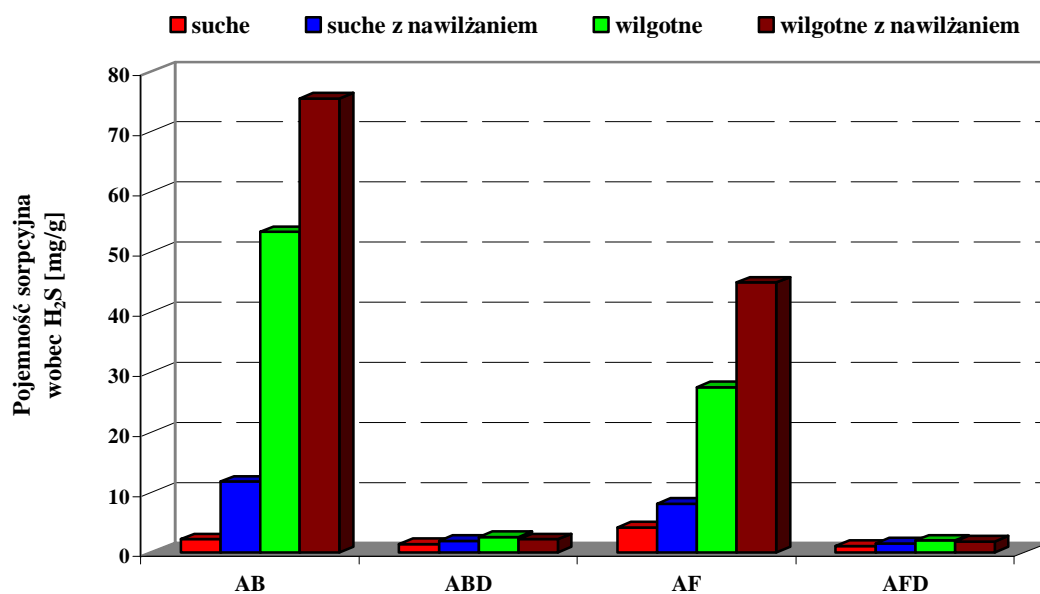
Węgiel otrzymany przez aktywację bezpośrednią węgla brunatnego, okazał się najbardziej efektywnym adsorbentem spośród wszystkich omówionych dotąd materiałów węglowych, adsorbując w zależności od warunków prowadzenia procesu od 46 do 192,5 mg NO<sub>2</sub> (Rys. 16) oraz od 2,2 do 75,5 mg H<sub>2</sub>S/g<sub>ads</sub> (Rys. 17). Węgiel otrzymany poprzez aktywację dwuetapową wykazywał nieco mniej korzystne zdolności, szczególnie wobec siarkowodoru. Podobnie jak dla wcześniej omawianych adsorbentów ogromny wpływ na uzyskiwane pojemności sorpcyjne miały warunki adsorpcji.



Rysunek 16. Pojemności sorpcyjne wobec NO<sub>2</sub> dla węgla aktywnych otrzymanych poprzez aktywację bezpośrednią (AB) i fizyczną (AF) węgla brunatnego; (D) - próbki po demineralizacji.

Zmiana warunków sorpcji z suchych na wilgotne, a przede wszystkim uprzednie nawilżenie złoża przed procesem adsorpcji sprzyjały w znacznym stopniu poprawie zdolności sorpcyjnych węgla. Świadczy o tym fakt, że pojemności sorpcyjne węgla AB i AF wobec NO<sub>2</sub> uzyskane w warunkach suchych były około 4-5-krotnie niższe, niż w warunkach wilgotnych po uprzednim nawilżeniu złoża adsorbenta. Jeszcze bardziej spektakularny wzrost pojemności sorpcyjnej w wyniku zmiany warunków adsorpcji (niemalże 35-krotny) odnotowano dla węgla AB otrzymanego poprzez aktywację bezpośrednią węgla brunatnego podczas sorpcji siarkowodoru (Rys. 17).

Tak wyjątkowo wysokie pojemności sorpcyjne badanych węgli wobec obu adsorbatów (pomimo ich mało korzystnych parametrów teksturalnych) wynikały z całą pewnością z ich silnie zasadowego charakteru powierzchni oraz bardzo wysokiej zawartości domieszek mineralnych w strukturze węglowej. Dzięki tym właściwościom możliwa była bowiem chemisorpcja obu gazów w wyniku reakcji pomiędzy tlenkami metali obecnymi w substancji mineralnej i cząsteczkami adsorbatów prowadząca według wcześniej zaproponowanego w literaturze przedmiotu mechanizmu [50,51] do powstania odpowiednich azotanów i siarczków. O słuszności tego stwierdzenia świadczy fakt, iż usunięcie znacznej części substancji mineralnej ze struktury obu węgli aktywnych, a tym samym zmiana charakteru chemicznego powierzchni doprowadziły do drastycznego spadku ich zdolności sorpcyjnych. Spadek ten był szczególnie widoczny podczas adsorpcji siarkowodoru, w przypadku którego pojemność sorpcyjna węgli poddanych demineralizacji mieściła się w zakresie zaledwie 1-3 mg/g.



Rysunek 17. Pojemności sorpcyjne wobec  $H_2S$  dla węgli aktywnych otrzymanych poprzez aktywację bezpośrednią (AB) i fizyczną (AF) węgla brunatnego; (D) - próbki po demineralizacji.

Wyniki badań sorpcyjnych wobec zanieczyszczeń ciekłych wykazały, że otrzymane węgle aktywne charakteryzują się również wysoką skutecznością w usuwaniu z wody zanieczyszczeń o rozmiarach zbliżonych do cząsteczek jodu i błękitu metylenowego. Bardziej efektywnym adsorbentem w tym przypadku okazał się węgiel uzyskany poprzez aktywację fizyczną, którego pojemność sorpcyjna wobec jodu i błękitu metylenowego była odpowiednio o 218 i 14  $mg/g_{ads}$  wyższa, niż węgla uzyskanego

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

przez aktywację bezpośrednią prekursora. Usunięcie części substancji mineralnej ze struktury węgla aktywnych (w odróżnieniu od adsorpcji zanieczyszczeń gazowych) wpłynęło korzystnie na zdolność sorpcyjną badanych węgla, szczególnie w przypadku węgla uzyskanego przez aktywację bezpośrednią. Jest to zapewne konsekwencją silniej rozwiniętej powierzchni i struktury porowatej węgla demineralizowanych. Pojemności sorpcyjne badanych węgla aktywnych nie są co prawda tak wysokie jak w przypadku omawianych wcześniej adsorbentów otrzymanych przez aktywację chemiczną pestek i skór owoców, czy też kaczanów kukurydzy [H-5], [H-6] i [H-7], jednak kształtują się na poziomie porównywalnym do węgla komercyjnego Norit® SX2 wykorzystywanego powszechnie do oczyszczania wody.

**Podsumowując można stwierdzić, że węgle brunatne charakteryzujące się wysoką zawartością substancji mineralnej stanowią idealny materiał wyjściowy do produkcji efektywnych adsorbentów węglowych zarówno wobec zanieczyszczeń gazowych, jak i ciekłych, a poprzez drobne modyfikacje parametrów procesu wytwarzania można w znacznym stopniu optymalizować ich zdolności sorpcyjne pod kątem wybranego zanieczyszczenia.**

### 3.3 Podsumowanie i najważniejsze wyniki

Plan badawczy omówionego cyklu habilitacyjnego obejmował syntezę adsorbentów węglowych z różnego rodzaju materiałów odpadowych i węgla brunatnych o wysokiej zawartości substancji mineralnej, charakterystykę ich właściwości fizykochemicznych oraz ocenę zdolności sorpcyjnych wobec zanieczyszczeń gazowych i ciekłych. Istotnym aspektem prowadzonych badań było również poszerzenie dotychczasowej wiedzy na temat adsorbentów węglowych oraz określenie jak najbardziej korzystnych parametrów ich wytwarzania. W tym celu otrzymano i scharakteryzowano 56 adsorbentów wykorzystując do tego 11 prekursorów i różne (w wielu przypadkach nowatorskie) warianty ich obróbki termochemicznej.

*Do najważniejszych osiągnięć przedstawionego cyklu habilitacyjnego należy zaliczyć:*

- 1) Wykazanie, że poprzez aktywację różnego typu materiałów odpadowych i niskiej jakości węgla brunatnych można otrzymać bardzo szeroką gamę nowych adsorbentów węglowych wykazujących bardzo zróżnicowane parametry



dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

teksturalne i odmienny charakter kwasowo-zasadowy powierzchni, charakteryzujące się jednocześnie bardzo dobrymi zdolnościami sorpcyjnymi wobec zanieczyszczeń gazowych i ciekłych.

- 2) Stwierdzenie, że produkcja efektywnych adsorbentów węglowych z materiałów odpadowych i węgla brunatnych wymaga indywidualnego doboru parametrów procesu ich wytwarzania dla każdego z wykorzystanych prekursorów.
- 3) Wykazanie jak istotny wpływ na parametry teksturalne i charakter kwasowo-zasadowy powierzchni wytwarzanych adsorbentów ma rodzaj zastosowanego czynnika aktywującego oraz warunki termiczne procesu pirolizy i/lub aktywacji, a nawet sposób ogrzewania reagentów podczas aktywacji.
- 4) Opracowanie nowego wariantu aktywacji chemicznej polegającego na uprzedniej karbonizacji materiału wyjściowego, a następnie ogrzewaniu otrzymanego karbonizatu w obecności czynnika aktywującego z narostem temperatury od końcowej temperatury karbonizacji do żądanej temperatury aktywacji.
- 5) Wykorzystanie (po raz pierwszy) adsorbentów uzyskanych z kartonu, pestek śliwy i wiśni oraz kaczanów kukurydzy w procesie usuwania ditlenku azotu i siarkowodoru.
- 6) Ukazanie jak istotną rolę w procesie usuwania ditlenku azotu i siarkowodoru ze strumienia powietrza mają warunki prowadzenia testu adsorpcyjnego oraz uprzednie nawilżenie złoża adsorbenta prowadzące do wytworzenia filmu wodnego na jego powierzchni.
- 7) Wykazanie, że obecność znacznej ilości substancji mineralnej w strukturze materiałów odpadowych i węgla kopalnych nie przekreśla ich potencjalnego wykorzystania jako prekursorów efektywnych adsorbentów, co więcej jest wręcz pożądana przy produkcji skutecznych adsorbentów takich zanieczyszczeń jak  $\text{NO}_2$  i  $\text{H}_2\text{S}$ .
- 8) Potwierdzenie, że poprzez nieskomplikowaną, jednoetapową obróbkę termochemiczną, tj. aktywację bezpośrednią węgla brunatnego o wysokiej zawartości substancji mineralnej za pomocą  $\text{CO}_2$  lub tylko i wyłącznie karbonizację kartonu falistego można otrzymać adsorbenty o zdecydowanie wyższej pojemności sorpcyjnej wobec  $\text{NO}_2$  niż węgle komercyjne, czy też opisane w literaturze materiały węglowe otrzymane w wyniku wieloetapowych procedur i dodatkowych modyfikacji.



dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

- 9) Udowodnienie, że silnie rozwinięta struktura porowata węgla aktywnych nie jest kluczowym parametrem decydującym o ich efektywności podczas adsorpcji zanieczyszczeń gazowych.
- 10) Wykazanie znacznego zróżnicowania mechanizmu sorpcji ditlenku azotu w warunkach suchych i wilgotnych, a ponadto jego wyraźnej korelacji z charakterem kwasowo-zasadowym powierzchni adsorbentów.
- 11) Stwierdzenie negatywnego wpływu procesu redukcji  $\text{NO}_2$  do  $\text{NO}$  na wysokość osiągniętych pojemności sorpcyjnych wobec ditlenku azotu.
- 12) Wskazanie, iż mimo podobnego charakteru chemicznego cząsteczek ditlenku azotu i siarkowodoru mechanizm ich oddziaływania ze strukturą i powierzchnią adsorbentów węglowych jest różny, przez co jednoczesne usuwanie obu zanieczyszczeń z zachowaniem wysokiej efektywności jest na chwilę obecną trudne do zrealizowania i wymaga podjęcia szczegółowych badań w tym kierunku.
- 13) Wykazanie istotnych zmian zachodzących w strukturze porowatej i charakterze chemicznym powierzchni adsorbentów węglowych na skutek adsorpcji  $\text{NO}_2$  i  $\text{H}_2\text{S}$ .
- 14) Stwierdzenie, że usunięcie substancji mineralnej ze struktury adsorbentów węglowych (po procesie aktywacji) w diametralny sposób zmienia ich parametry teksturalne i właściwości kwasowo-zasadowe, jak również sprzyja znacznej poprawie zdolności sorpcyjnych wobec zanieczyszczeń ciekłych. Niestety zmiany te mają negatywny wpływ na skuteczność usuwania obu gazów toksycznych.
- 15) Wykazanie, że poprzez modyfikacje takie jak usunięcie substancji mineralnej ze struktury prekursora, wprowadzenie azotu podczas procesu wytwarzania adsorbentów, czy też obróbkę termochemiczną węgla aktywnych w atmosferze gazu obojętnego i wodoru po procesie aktywacji można w bardzo szerokim zakresie zmieniać ich parametry fizykochemiczne umożliwiając w ten sposób jak najbardziej optymalny dobór adsorbenta pod kątem określonego zastosowania.
- 16) Otrzymanie szerokiej grupy węgla aktywnych o porównywalnych, a w wielu przypadkach znacznie bardziej korzystnych zdolnościach sorpcyjnych wobec zanieczyszczeń ciekłych o wymiarach zbliżonych do cząsteczek jodu i błękitu metylenowego, niż dostępne na rynku produkty handlowe.

### 3.4 Cytowana literatura:

- [1] J.P. Boudou, M. Chehimi, E. Broniek, T. Siemieniewska, J. Bimer; *Carbon* 2003, **41**, 1999–2007.
- [2] M.M. Maroto-Valer, Z. Tang, Y. Zhang; *Fuel Process. Technol.* 2005, **86**, 1487–1502.
- [3] M-C. Huang, H. Teng; *Carbon* 2003, **41**, 951–57.
- [4] W.H. Lee, P.J. Reucroft; *Carbon* 1999, **37**, 15–20.
- [5] A. Bagreev, S. Bashkova, T.J. Bandosz; *Langmuir* 2002, **18**, 1257–1264.
- [6] R. Pietrzak, T.J. Bandosz; *J. Hazard. Mater.* 2008, **154**, 946–953.
- [7] K. Li, L. Ling, C. Lu, W. Qiao, Z. Liu, L. Liu, I. Mochida; *Carbon* 2001, **39**, 1803–1808.
- [8] F. Adib, A. Bagreev, T.J. Bandosz; *Langmuir* 2000, **16**, 1980–1986.
- [9] J. Guo, Y. Luo, A.Ch. Lua, R. Chi, Y. Chen, X. Bao, S. Xiang; *Carbon* 2007, **45**, 330–336.
- [10] J. Przepiórski, A. Czyżewski, R. Pietrzak, M. Toyoda, A.W. Morawski; *J. Hazard. Mater.* 2013, **263**, 353–360.
- [11] R.C. Bansal, M. Goyal, *Activated Carbon Adsorption*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2005.
- [12] [https://www.mos.gov.pl/fileadmin/user\\_upload/srodowisko/POLITYKA\\_KLIMATYCZNA\\_POLS\\_KI\\_-\\_Strategie\\_redukcji\\_emisji\\_gazow\\_cieplarnianych\\_w\\_Polsce\\_do\\_roku\\_2020.pdf](https://www.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/srodowisko/POLITYKA_KLIMATYCZNA_POLS_KI_-_Strategie_redukcji_emisji_gazow_cieplarnianych_w_Polsce_do_roku_2020.pdf)
- [13] T.W. Chung, C.C. Chung; *Chem. Eng. Sci.* 1998, **53**, 2967–2972.
- [14] T.S. Jamil, H.H. Abdel Ghafar, H.S. Ibrahim, I.H. Abd El-Maksoud; *Solid State Sci.* 2011, **13**, 1844–1851.
- [15] T. Kopać; *Chem. Eng. Process.* 1999, **38**, 45–53.
- [16] O.K. Borggaard, B. Raben-Lange, A.L. Gimsing, B.W. Strobel; *Geoderma* 2005, **127**, 270–279.
- [17] E. Rysiakiewicz-Pasek, V.A. Vorobyova, S.A. Gevelyuk, I.K. Doycho, V.T. Mak; *J. Non-Cryst. Solids* 2004, **345–346**, 260–264.
- [18] T.J. Bandosz; *Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation*, Elsevier, Ltd, Oxford, 2006.
- [19] P. Serp, J.L. Figueiredo; *Carbon materials for catalysis*. Wiley, New Jersey, 2009.
- [20] S.J. Park, K.D. Kim; *Carbon* 2001, **39**, 1741–1746.
- [21] Z. Li, M. Jaroniec; *J. Colloid. Interf. Sci.* 1999, **210**, 200–206.

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

- [22] D. Lozano-Castello, J. Alcaniz-Monge, D. Cazorla-Amoros, A. Linares-Solano, W. Zhu, F. Kapteijn, J.A. Moulijn; *Carbon* 2005, **43**, 1643–1651.
- [23] M.M. Shaijumon, S. Ramaprabhu; *Int. J. Hydrogen Energy* 2005, **30**, 311–317.
- [24] K.P. Gierszal, M. Jaroniec, T.W. Kim, J. Kim, R. Ryoo; *New J. Chem.* 2005, **32**, 981–993.
- [25] J.L. Figueiredo, M.F.R. Pereira, *Catal. Today*, 2010, **150**, 2–7.
- [26] H. Marsh, F. Rodriguez-Reinoso; *Activated Carbon*, Elsevier Ltd, 2006.
- [27] H. Jankowska, A. Świątkowski, J. Choma; *Węgiel aktywny*, WNT, Warszawa, 1985.
- [28] R.C. Bansal, J.B. Donnet, F. Stoeckli, *Active Carbon*, Marcel Dekker INC, Nowy Jork, 1988.
- [29] P. Nowicki, R. Pietrzak; *Węgla aktywne wzbogacone w azot – otrzymywanie, właściwości i potencjalne zastosowanie*, rozdział 7 (str. 129-144) w monografii: „*Adsorbenty i Katalizatory – Wybrane technologie a środowisko*” pod red. J. Ryczkowskiego, Rzeszów 2012.
- [30] Yu.V. Pokonova; *Carbon* 1996, **34**, 411–415.
- [31] D. Lozano-Castello, M.A. Lillo-Rodenas, D. Cazorla-Amoros, A. Linares-Solano; *Carbon* 2001, **39**, 741–749.
- [32] T. Wang, S. Tan, Ch. Liang; *Carbon* 2009, **47**, 1880–1883.
- [33] T. Khadiran, M.Z. Hussein, Z. Zainal, R. Rusli; *Energy* 2015, **82**, 468–478.
- [34] M.K.B. Gratuito, T. Panyathanmaporn, R.-A. Chumnanklang, N. Sirinuntawittaya, A. Dutta; *Bioresource Technol.* 2008, **99**, 4887–4895.
- [35] A. Aworn, P. Thiravetyan, W. Nakbanpote; *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 2008, **82**, 279–285.
- [36] O. Ioannidou, A. Zabaniotou; *Ren. Sust. Energ. Rev.* 2007, **11**, 1966–2005.
- [37] M. Hofman, R. Pietrzak, *Chem. Eng. J.* 2011, **170**, 202–208.
- [38] K. Laszlo, E. Tombacz, K. Josepovits; *Carbon* 2001, **39**, 1217–1228.
- [39] J. Hayashi, M. Uchibayashi, T. Horikawa, K. Muroyama, V.G. Gomes, *Carbon*, 2002, **40**, 2747–2752.
- [40] R. Pietrzak; *Bioresource Technol.* 2010, **101**, 907–913.
- [41] P. Nowicki, R. Pietrzak; *Chem. Eng. J.* 2011, **166**, 1039–43.
- [42] S. Bashkova, T.J. Bandoz; *J. Colloid Interf. Sci.* 2009, **333**, 97–103.
- [43] A. Bagreev, T.J. Bandoz; *Ind. Eng. Chem. Res.* 2005, **44**, 530–538.

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

- [44] A. Bagreev, T.J. Bandosz; *Carbon* 2001, **39**, 2303–2311.
- [45] A. Bagreev, J.A. Menendez, I. Dukhno, Y. Tarasenko, T.J. Bandosz; *Carbon* 2004, **42**, 469–476.
- [46] C.C. Huang; C.H. Chen, S.M. Chu; *J. Hazard. Mater.* 2006, **136**, 866–873.
- [47] T. Nakamura, S. Tanada, N. Kawasaki, T. Hara, J. Fujisawa, K. Shibata; *Toxicol. Environ. Chem.* 1996, **55**, 279–283.
- [48] F. Çeçen, Ö. Aktaş; *Activated carbon for water and wastewater treatment*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2011.
- [49] E.J. Bottani, J.M. Tascon, *Adsorption by carbons*, Elsevier, Amsterdam, 2008.
- [50] A. Bagreev, S. Bashkova, D.C. Locke, T.J. Bandosz; *Environ. Sci. Technol.* 2001, **35**, 1537–1543.
- [50] R. Pietrzak, T.J. Bandosz, *Environ. Sci. Technol.* 2007, **41**, 7516–7522.

## 4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

### 4.1 Opis dotychczasowej pracy badawczej

Moja dotychczasowa praca naukowa w całości była poświęcona zagadnieniom dotyczącym chemii węgla, a w szczególności węgla aktywnych i ich modyfikacji. Pierwsze przeprowadzone przeze mnie badania dotyczyły otrzymywania węgla aktywnych wzbogaconych w azot na drodze amoksydacji i aktywacji fizycznej węgla brunatnego – była to tematyka mojej pracy magisterskiej, zatytułowanej „*Węgiel brunatny modyfikowany azotem jako prekursor węgla aktywnych*”. W 2004 roku rozpocząłem studia doktoranckie na Wydziale Chemii UAM w Poznaniu. Pracę doktorską zatytułowaną „*Właściwości fizykochemiczne modyfikowanych azotem węgla aktywnych*” wykonywałem pod kierunkiem prof. dr hab. Heleny Wachowskiej w Zakładzie Chemii i Technologii Węgla. Głównym celem mojej pracy doktorskiej było otrzymanie węgla aktywnych wzbogaconych w azot na drodze amoksydacji i aktywacji chemicznej węgla kopalnych oraz zbadanie przydatności otrzymanych w ten sposób węgla aktywnych do budowy elektrod dla kondensatorów elektrochemicznych. Zbadałem ponadto wpływ stopnia uwęglenia prekursora na efektywność procesu amoksydacji, określiłem rodzaj ugrupowań azotowych generowanych podczas modyfikacji węgla kopalnych, jak również wpływ wbudowanych ugrupowań azotowych na właściwości fizykochemiczne węgla aktywnych. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazałem, iż wprowadzenie azotu w strukturę węgla kopalnych o różnym stopniu uwęglenia pozwala na uzyskanie szerokiej gamy produktów wykazujących bardzo zróżnicowane właściwości fizykochemiczne, między innymi silnie rozwiniętą powierzchnię właściwą oraz strukturę porowatą, w której dominowały mikropory. Wzbogacanie węgla w azot na różnych etapach wytwarzania węgla aktywnego pozwoliło na uzyskanie materiałów o zróżnicowanym charakterze powierzchni, od węgla wybitnie kwasowych po materiały o pośrednim kwasowo-zasadowym charakterze. Za najbardziej istotne osiągnięcie tego etapu mojej pracy naukowej uważam fakt, iż wprowadzenie azotu w strukturę węgla aktywnych przyczyniło się do znacznej poprawy ich parametrów pojemnościowych. Badania elektrochemiczne wykazały, że otrzymane węgle mogą z powodzeniem pełnić rolę materiału elektrodowego w kondensatorach elektrochemicznych, zarówno kwasowych jak i zasadowych. Z badań tych wynikało również, że azotowane węgle aktywne są

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

w szczególności predysponowane na elektrody ujemne dla kondensatora zasadowego, gdzie osiągały bardzo wysokie wartości pojemności dochodzące do 365 F/g. Znaczna część przeprowadzonych przeze mnie badań została wykonana w ramach grantu promotorskiego nr N204 043 32/0906. Część z tych badań przeprowadziłem we współpracy z: prof. dr hab. K. Babełem z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, dr hab. B. Pilawą ze Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach oraz dr hab. inż. K. Jurewiczem z Politechniki Poznańskiej. Efektem tych badań było kilkanaście komunikatów konferencyjnych oraz publikacji o zasięgu międzynarodowym i krajowym. Przygotowana przeze mnie dysertacja została zaliczona do wyróżniających się prac doktorskich przez oboje recenzentów, tj. prof. dr hab. Teresę Grzybek (AGH Kraków) oraz prof. dr hab. Ryszarda Fiedorowa (UAM Poznań), a ponadto uznana za najlepszą pracę doktorską wykonaną na Wydziale Chemii UAM w roku 2008.

Po zatrudnieniu na etacie adiunkta na wydziale Chemii UAM (z dniem 1 października 2008 roku) rozpocząłem badania nad otrzymywaniem adsorbentów węglowych z różnego rodzaju odpadów rolniczych i przemysłowych (np. pestek i skór owoców, łupin orzechów, trocin, odpadów papierniczych, itp.) oraz ich potencjalnym wykorzystaniem do usuwania zanieczyszczeń z fazy gazowej i ciekłej, a także w dziedzinie elektrochemii oraz katalizie. Równocześnie kontynuowałem badania nad modyfikacją węgla aktywnych poprzez ich wzbogacanie w azotowe i tlenowe grupy funkcyjne. Badania te realizowałem jako kierownik lub wykonawca 4 projektów naukowych finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, a także w ramach współpracy z kilkoma ośrodkami naukowymi w kraju, tj. Politechniką Poznańską, Centralnym Laboratorium Akumulatorów i Ogniw w Poznaniu, Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym oraz Uniwersytetem Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.

Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły mi stwierdzić, że przemysłowe i porolnicze materiały odpadowe mogą w przyszłości być z powodzeniem stosowane jako prekursorzy tanich i co ważniejsze efektywnych adsorbentów wobec wielu zanieczyszczeń gazowych i ciekłych. Ponadto, wiele z otrzymanych materiałów węglowych wykazuje również bardzo ciekawe charakterystyki pojemnościowe w związku z czym mogą one znaleźć zastosowanie w nowoczesnych źródłach energii takich jak symetryczne i asymetryczne kondensatory elektrochemiczne oraz baterie litowo-jonowe.

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Z tego względu najbliższy okres mojej pracy naukowej mam zamiar poświęcić kontynuacji tych badań, ich poszerzeniu o kolejne prekursory oraz zoptymalizowaniu procesu wytwarzania węgla aktywnych. Co więcej, w swej pracy badawczej staram się też wdrażać nowe rozwiązania techniczne, np. stosować ogrzewanie mikrofalowe zamiast metody konwencjonalnej, co ma w założeniu umożliwić obniżenie temperatury oraz skrócenie czasu poszczególnych procesów technologicznych niezbędnych do wytworzenia węgla aktywnych, a tym samym obniżyć koszt ich produkcji.

Wymiernym efektem mojej dotychczasowej pracy badawczej jest autorstwo lub współautorstwo 38 publikacji znajdujących się w bazie JCR (*Journal Citation Reports*) o łącznym „wskaźniku wpływu” (ang. *impact factor*, IF) równym 104,168; 2 publikacji znajdujących się poza bazą JCR, 3 rozdziałów w monografiach, 3 prac przeglądowych i 52 prac pokonferencyjnych oraz 16 wystąpień ustnych i 153 posterowych prezentowanych na konferencjach międzynarodowych i sympozjach krajowych.

Moja działalność naukowa została uhonorowana między innymi Stypendium naukowym dla wybitnych młodych naukowców przyznany przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Stypendium Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej dla młodych uczonych – Program START, Stypendium Naukowym Miasta Poznania dla młodych badaczy z poznańskiego środowiska naukowego oraz sześciokrotnie przyznaną Nagrodą zespołową JM Rektora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu za osiągnięcia naukowe.

## 4.2 Spis publikacji

Artykuły naukowe zostały wymienione w kolejności chronologicznej. Publikacje wchodzące w skład cyklu habilitacyjnego oznaczono dodatkowo symbolami [H-1] – [H-9]. Impact factor (IF) czasopism podano na podstawie danych z 2014 roku.

### 4.2.1. Publikacje w czasopismach znajdujących się w bazie JCR (*Journal Citation Reports*) opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora:

#### 1. R. Pietrzak, H. Wachowska, **P. Nowicki**

The effect of flame coal oxidation on solid and soluble products of its extraction  
*Central European Journal of Chemistry* – 2005, 3(4), 852-865. IF = 1,329

Szacowany udział własny 20% – wykonanie analiz elementarnych, udział w dyskusji wyników.



dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

2. R. Pietrzak, H. Wachowska, **P. Nowicki**  
Preparation of nitrogen-enriched activated carbons from brown coal  
*Energy & Fuels* – 2006, 20, 1275-1280. *IF* = 2,790  
Udział własny 10% – pomoc w karbonizacji i aktywacji, uczestnictwo w dyskusji wyników.
3. R. Pietrzak, K. Jurewicz, **P. Nowicki**, K. Babel, H. Wachowska  
Microporous activated carbons from ammoxidised anthracite and their capacitance behaviours  
*Fuel* – 2007; 86, 1086-1092. *IF* = 3,520  
Udział własny 10% – przygotowanie węgla do badań, częściowe wykonanie amoksydacji, udział w dyskusji wyników.
4. R. Pietrzak, H. Wachowska, **P. Nowicki**, K. Babel  
Preparation of modified active carbon from brown coal by ammoxidation  
*Fuel Processing Technology* – 2007, 88, 409-415. *IF* = 3,352  
Udział własny 15% – pomoc w karbonizacji, aktywacji i amoksydacji węgla, wykonanie oznaczeń grup tlenowych, dyskusja wyników.
5. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Siberian anthracite as a precursor material for microporous activated carbons  
*Fuel* – 2008, 87, 2037-2040. *IF* = 3,520  
Udział własny 20% – przygotowanie węgla do badań, pomoc w wykonaniu aktywacji, dyskusja wyników.
6. K. Jurewicz, R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Capacitance behaviour of brown coal based active carbon modified through chemical reaction with urea  
*Electrochimica Acta* – 2008, 53, 5469-5475. *IF* = 4,504  
Udział własny 5% – udział w dyskusji wyników.
7. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Comparison of physicochemical properties of nitrogen-enriched activated carbons prepared by physical and chemical activation of brown coal  
*Energy & Fuels* – 2008, 22, 4133-4138. *IF* = 2,790  
Udział własny 20% – przygotowanie węgla do badań, wykonanie aktywacji fizycznej, wykonanie oznaczeń grup tlenowych, dyskusja wyników.

#### 4.2.2. Publikacje w czasopismach znajdujących się w bazie JCR (Journal Citation Reports) opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora:

1. **P. Nowicki, R. Pietrzak, H. Wachowska**  
Influence of metamorphism degree of the precursor on preparation of nitrogen enriched activated carbons by ammoxidation and chemical activation of coals  
*Energy & Fuels* – 2009, 23, 2205-2212. *IF* = 2,790  
Szacowany udział własny 20% – pomoc w aktywacji i amoksydacji, wykonanie analiz technicznych i oznaczeń grup tlenowych, dyskusja wyników.
2. R. Pietrzak, **P. Nowicki, H. Wachowska**  
The influence of oxidation with nitric acid on the preparation and properties of active carbon enriched in nitrogen  
*Applied Surface Science* – 2009, 255, 3586-3593. *IF* = 2,711  
Szacowany udział własny 10% – wykonanie analiz technicznych i oznaczeń grup tlenowych, dyskusja wyników
3. **P. Nowicki, R. Pietrzak [H-1]**  
Carbonaceous adsorbents prepared by physical activation of pine sawdust and their application for removal of NO<sub>2</sub> in dry and wet conditions  
*Bioresource Technology* – 2010, 101, 5802-5807. *IF* = 4,494  
Udział własny 85% – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, przeprowadzenie procesu aktywacji, oznaczenie właściwości kwasowo-zasadowych otrzymanych materiałów węglowych, przeprowadzenie testów adsorpcyjnych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.
4. **P. Nowicki, M. Skrzypczak, R. Pietrzak [H-3]**  
Effect of activation method on the physicochemical properties and NO<sub>2</sub> removal abilities of sorbents obtained from plum stones (*Prunus domestica*)  
*Chemical Engineering Journal* – 2010, 162, 723-729. *IF* = 4,321  
Udział własny 60% – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, przeprowadzenie części testów adsorpcyjnych, udział w dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.
5. **P. Nowicki, H. Wachowska, R. Pietrzak [H-4]**  
Active carbons prepared by chemical activation of plum stones and their application in removal of NO<sub>2</sub>  
*Journal of Hazardous Materials* – 2010, 181, 1088-1094. *IF* = 4,529  
Udział własny 70% – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, przeprowadzenie części procesów karbonizacji i aktywacji, przeprowadzenie części testów adsorpcyjnych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami, korespondencja z edytorem.

6. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Amoxidised active carbons as adsorbents for pollution from liquid and gas phase  
*Polish Journal of Environmental Studies – 2010, 2, 449-452. IF = 0,871*  
Szacowany udział własny 45% – przeprowadzenie amoksydacji, karbonizacji oraz aktywacji, przeprowadzenie procesów adsorpcji, dyskusja wyników.
7. R. Pietrzak, K. Jurewicz, **P. Nowicki**, K. Babeł, H. Wachowska  
Nitrogen-enriched bituminous coal based active carbons as materials for supercapacitors  
*Fuel – 2010, 89, 3457-3467. IF = 3,520*  
Szacowany udział własny 30% – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, przeprowadzenie amoksydacji, karbonizacji oraz aktywacji, oznaczenie właściwości kwasowo-zasadowych węgla.
8. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, M. Dobkiewicz, H. Wachowska  
The effect of amoxidation process on NO<sub>2</sub> sorption abilities of active carbons  
*Acta Physica Polonica A – 2010, 118, 493-499. IF = 0,530*  
Szacowany udział własny 30% – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy aktywacji, karbonizacji i amoksydacji, oznaczenie właściwości kwasowo-zasadowych węgla.
9. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Sorption properties of active carbons obtained from walnut shells by chemical and physical activation  
*Catalysis Today – 2010, 150, 107-114. IF = 3,893*  
Szacowany udział własny 35% – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, przeprowadzenie części procesów karbonizacji i aktywacji, udział w przygotowaniu manuskryptu i dyskusji wyników.
10. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
X-ray photoelectron spectroscopy study of nitrogen-enriched active carbons obtained by amoxidation and chemical activation of brown and bituminous coals  
*Energy & Fuels – 2010, 24, 1197-1206. IF = 2,790*  
Szacowany udział własny 60% – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, przeprowadzenie procesów aktywacji, karbonizacji i amoksydacji, wykonanie analizy technicznej i elementarnej, oznaczenie zawartości grup tlenowych, dyskusja wyników.
11. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Effect of amoxidation of activated carbons obtained from sub-bituminous coal on their NO<sub>2</sub> sorption capacity under dry conditions  
*Chemical Engineering Journal – 2011, 166, 1039-1043. IF = 4,321*

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Szacowany udział własny 50% – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy aktywacji, karbonizacji i amoksydacji węgla, udział w interpretacji wyników oraz dyskusji z recenzentami.

12. **P. Nowicki**, I. Kuszyńska, J. Przepiórski, R. Pietrzak

Effect of chemical activation method on the properties of activated carbons made of lignite

*Przemysł Chemiczny* – 2012, 91 (9) 1846-1850. *IF* = 0,399

Szacowany udział własny 20 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy karbonizacji oraz aktywacji, udział w interpretacji wyników.

13. **P. Nowicki**, M. Supłat, J. Przepiórski, R. Pietrzak [**H-2**]

NO<sub>2</sub> removal on adsorbents obtained by pyrolysis and physical activation of corrugated cardboard

*Chemical Engineering Journal* – 2012, 195 – 196, 7-14. *IF* = 4,321

Udział własny 55 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy prowadzeniu karbonizacji i aktywacji, wykonanie części testów adsorpcyjnych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.

14. J. Goscianska, I. Nowak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak

Thermal analysis of activated carbons modified with silver metavanadate

*Thermochimica Acta* – 2012, 541, 42-48. *IF* = 2,184

Szacowany udział własny 20 % – przeprowadzenie procesów karbonizacji oraz aktywacji, oznaczenie zawartości grup tlenowych, udział w interpretacji wyników.

15. J. Goscianska, I. Nowak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak

The influence of silver on the physicochemical and catalytic properties of activated carbons

*Chemical Engineering Journal* – 2012, 189 – 190, 422-430. *IF* = 4,321

Szacowany udział własny 20 % – przeprowadzenie procesów karbonizacji oraz aktywacji oraz kalcynacji próbek impregnowanych, oznaczenie zawartości grup tlenowych, udział w interpretacji wyników.

16. **P. Nowicki**, P. Skibiszewska, R. Pietrzak

NO<sub>2</sub> removal on adsorbents prepared from coffee industry waste materials

*Adsorption – Journal of the International Adsorption Society* – 2013, 19(2-4), 521-528. *IF* = 1,771

Szacowany udział własny 35 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami, korespondencja z edytorem.

17. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak [**H-5**]

Sorption properties of activated carbons obtained from corn cobs by chemical and physical activation

*Adsorption – Journal of the International Adsorption Society – 2013, 19(2-4), 273-281. IF = 1,771*

Udział własny 60 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy prowadzeniu karbonizacji i aktywacji, przeprowadzenie części testów adsorpcyjnych, wykonanie części oznaczeń zawartości grup tlenowych dla otrzymanych materiałów węglowych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.

18. **P. Nowicki**, I. Kuszyńska, J. Przepiórski, R. Pietrzak

The effect of chemical activation method on properties of activated carbons obtained from pine cones

*Central European Journal of Chemistry – 2013, 11(1), 78-85. IF = 1,329*

Szacowany udział własny 25 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy prowadzeniu karbonizacji i aktywacji, udział w interpretacji i dyskusji wyników, dyskusja z recenzentami.

19. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, J. Kaźmierczak, I. Kuszyńska, J. Goscińska, J. Przepiórski  
Comparison of the effects of different chemical activation methods on properties of carbonaceous adsorbents obtained from cherry stones

*Chemical Engineering Research and Design – 2014, 92(6), 1187-1191.*

*IF = 2,348*

Szacowany udział własny 20 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, udział w interpretacji i dyskusji wyników, dyskusja z recenzentami.

20. **P. Nowicki**, P. Skibiszewska, R. Pietrzak

Hydrogen sulphide removal on carbonaceous adsorbents prepared from coffee industry waste materials

*Chemical Engineering Journal – 2014, 248, 208-215. IF = 4,321*

Szacowany udział własny 35 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, modyfikacja najlepszego z adsorbentów polegająca na usunięciu substancji mineralnej obecnej w jego strukturze, charakterystyka fizykochemiczna tej próbki i jej badania sorpcyjne, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.

21. **P. Nowicki**, W. Szymanowski, R. Pietrzak

Textural, surface, thermal and sorption properties of the functionalized activated carbons and carbon nanotubes

*Polish Journal of Chemical Technology – 2015, 17 (4), 120-127. IF = 0,536*

Szacowany udział własny 40% – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy prowadzeniu poszczególnych modyfikacji węgla

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

i nanorurek, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami, korespondencja z edytorem.

22. **P. Nowicki**, A. Bazan, J. Kazmierczak-Razna, R. Pietrzak

Sorption properties of carbonaceous adsorbents obtained by pyrolysis and activation of pistachio nut shells

*Adsorption Science and Technology* – 2015, 33 (6-8), 581-586. *IF* = 0,669

Szacowany udział własny 50 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy prowadzeniu karbonizacji i aktywacji, przeprowadzenie części testów adsorpcyjnych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami, korespondencja z edytorem.

23. J. Kazmierczak-Razna, B. Gralak-Podemska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak

The use of microwave radiation for obtaining activated carbons from sawdust and their potential application in removal of NO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S

*Chemical Engineering Journal* – 2015, 269, 352-358. *IF* = 4,321

Udział własny 10 % – udział w interpretacji i dyskusji wyników.

24. **P. Nowicki**, J. Kazmierczak, K. Sawicka, R. Pietrzak

Nitrogen-enriched activated carbons prepared by the activation of coniferous tree sawdust and their application in the removal of nitrogen dioxide

*International Journal of Environmental Science and Technology* – 2015, 12 (7), 2233-2244.

*IF* = 2,190

Szacowany udział własny 40 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy prowadzeniu karbonizacji i aktywacji, przeprowadzenie części testów adsorpcyjnych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.

25. J. Kazmierczak-Razna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak

The use of microwave radiation for obtaining activated carbons enriched in nitrogen

*Powder Technology* – 2015, 273, 71-75. *IF* = 2,349

Udział własny 10 % – udział w interpretacji i dyskusji wyników.

26. **P. Nowicki**, J. Kazmierczak, R. Pietrzak [**H-6**]

Comparison of physicochemical and sorption properties of activated carbons prepared by physical and chemical activation of cherry stones

*Powder Technology* – 2015, 269, 312-319. *IF* = 2,349

Udział własny 60 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, pomoc przy prowadzeniu karbonizacji i aktywacji, przeprowadzenie części testów adsorpcyjnych, wykonanie części oznaczeń zawartości grup tlenowych dla otrzymanych materiałów węglowych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.



dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

27. M. Wiśniewska, **P. Nowicki**, V.M. Bogatyrov, A. Nosal-Wiercińska, R. Pietrzak  
Comparison of adsorption properties of  $Mg_xO_y-SiO_2$  and  $Zn_xO_y-SiO_2$  in the mixed oxide-poly (vinyl alcohol) system  
*Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* – 2016, 492, 12-18. *IF* = 2,752  
Szacowany udział własny 5% – udział w interpretacji i dyskusji wyników.
28. **P. Nowicki**, J. Kazmierczak-Razna, R. Pietrzak [**H-7**]  
Physicochemical and adsorption properties of carbonaceous sorbents prepared by activation of tropical fruit skins with potassium carbonate  
*Materials & Design* – 2016, 90, 579-585. *IF* = 3,501  
Udział własny 80 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, przeprowadzenie procesu aktywacji chemicznej, oznaczenie właściwości kwasowo-zasadowych otrzymanych materiałów węglowych, przeprowadzenie większości testów adsorpcyjnych, udział w interpretacji i dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami.
29. J. Kazmierczak-Razna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Toxic gases removal onto activated carbons obtained from hay with the use of microwave radiation  
*Chemical Engineering Research and Design* – 2016, 109, 346-353. *IF* = 2,348  
Udział własny 10 % – udział w interpretacji i dyskusji wyników.
30. **P. Nowicki** [**H-8**]  
The effect of mineral matter on the physicochemical and sorption properties of brown coal-based activated carbons  
*Adsorption – Journal of the International Adsorption Society* – 2016, 22(4-6) 561-569 *IF* = 1,771  
Udział własny 100 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, wykonanie całej części eksperymentalnej, interpretacja i dyskusja wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami, korespondencja z edytorem.
31. **P. Nowicki** [**H-9**]  
Effect of heat treatment on the physicochemical properties of nitrogen-enriched activated carbons  
*Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* – DOI 10.1007/s10973-016-5254-8 *IF* = 2,042  
Udział własny 100 % – opracowanie koncepcji badań oraz planu eksperymentów, wykonanie całej części eksperymentalnej, interpretacja i dyskusja wyników, przygotowanie manuskryptu, dyskusja z recenzentami, korespondencja z edytorem.



#### **4.2.3. Publikacje w czasopismach znajdujących się poza bazą JCR (Journal Citation Reports) opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora:**

1. R. Pietrzak, H. Wachowska, **P. Nowicki**

The effect of coal oxidation on the yield and structure of extracts

*Polish Journal of Applied Chemistry* – 2004, 1-2, 51-61.

Szacowany udział własny 25% – wykonanie analiz elementarnych, udział w dyskusji wyników, przygotowanie części manuskryptu.

2. M. Latocha, B. Pilawa, R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska

Conditions of photodynamic therapy of tumor cells examined by carbonized coal and EPR spectroscopy

*Engineering of Biomaterials* – 2008, 73, 4-6.

Szacowany udział własny 5% – przygotowanie węgla do badań, pomoc w karbonizacji.

#### **4.2.4. Publikacje w czasopismach znajdujących się poza bazą JCR (Journal Citation Reports) opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora:**

1. **P. Nowicki**, H. Wachowska

Rozwój struktury porowatej węgla aktywnych na drodze aktywacji fizycznej i chemicznej węgla kopalnych

*Wiadomości Chemiczne* – 2008, 62, (9-10), 827-848.

Szacowany udział własny 80% – opracowanie większości danych literaturowych, wykonanie rysunków, przygotowanie manuskryptu, korespondencja z edytorem.

2. **P. Nowicki**, H. Wachowska

Modyfikowane węgle aktywne – otrzymywanie oraz perspektywiczne kierunki ich wykorzystania

*Wiadomości Chemiczne* – 2008, 62, (11-12), 999-1016.

Szacowany udział własny 80% – opracowanie większości danych literaturowych, wykonanie rysunków, przygotowanie manuskryptu, korespondencja z edytorem.

3. **P. Nowicki**, H. Wachowska

Węgle aktywne jako materiał elektrodowy dla kondensatorów elektrochemicznych

*Wiadomości Chemiczne* – 200963, (5-6), 461-476.

Szacowany udział własny 80% – opracowanie większości danych literaturowych, wykonanie rysunków, przygotowanie manuskryptu, korespondencja z edytorem.

4. **P. Nowicki**, R. Pietrzak

Węgle aktywne wzbogacone w azot – otrzymywanie, właściwości i potencjalne zastosowanie – Rozdział 7 (str. 129-144) w monografii: „*Adsorbenty i Katalizatory – Wybrane technologie a środowisko*” pod red. J. Ryczkowskiego, Rzeszów 2012.

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Szacowany udział własny 80% – opracowanie większości danych literaturowych, wykonanie rysunków, przygotowanie manuskryptu, korespondencja z edytorem.

5. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, A. Kaszyńska, L. Wachowski

Konwencjonalne i alternatywne źródła energii

„Odpady i opakowania – nowe regulacje i obowiązki” *Praktyczny poradnik dla wytwórców odbiorców odpadów i opakowań pod red. L. Wachowskiego, Wyd. Forum, Poznań, Lipiec 2012, Tom 1, Rozdz. 2/4.7, 1-18, ISBN 978-83-260-1171-9.*

Szacowany udział własny 20% – opracowanie części danych literaturowych oraz przygotowanie fragmentu manuskryptu dotyczącego wpływu procesów pozyskiwania energii na stan środowiska.

6. J. Kazmierczak-Razna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak

Odpady z rolnictwa i przemysłu jako potencjalne prekursory adsorbentów węglowych, Rozdział III.9 (str. 573-589) w monografii „*Kompleksowe zarządzanie gospodarką odpadami*” pod red. P. Manczarskiego, Poznań-Kołoźbrzeg 2015. *ISBN 978-83-89696-87-8.*

Szacowany udział własny 10% – opracowanie części danych literaturowych oraz przygotowanie fragmentu manuskryptu dotyczącego zastosowania węgla aktywnych.

#### 4.2.5. Prace pokonferencyjne opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora:

1. R. Pietrzak, H. Wachowska, **P. Nowicki**

Analysis of extracts obtained from oxidised coals of different sulphur content  
*Annals of the Polish Chemical Society 2005, vol. II, 260-264.*

2. M. Kozłowski, H. Wachowska, J. Yperman, **P. Nowicki**

Reduction and alkylation in analysis of sulphur compounds in fossil coals  
*Annals of the Polish Chemical Society 2005, vol. II, 233-237.*

3. K. Jurewicz, R. Pietrzak, H. Wachowska, **P. Nowicki**, K. Babeł

Enhance capacitance of active carbon through chemical reaction with urea  
*Proc. Int. Conf. Carbon'06; 2006, CD.*

4. E. Stęchlicki, **P. Nowicki**, H. Wachowska, K. Jurewicz

Węgiel płomienny wzbogacony w azot jako prekursor węgla aktywnych  
*Chemia w zrównoważonym rozwoju, 2006, 365-370.*

5. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska

Otrzymywanie węgla aktywnych z węgla płomiennego za pomocą różnych czynników aktywujących  
*Chemia w zrównoważonym rozwoju, 2006, 259-264.*

6. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska

Badania powierzchni utlenionych węgla pozbawionych piryty metodą XPS  
*Chemia w zrównoważonym rozwoju, 2006, 285-290.*

7. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska, P. Puślecki

The effect of coalification degree on the properties and structure of active carbon enriched in nitrogen in the reaction with urea  
*Annals of the Polish Chemical Society 2007, 398-401.*

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

8. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Physico-chemical properties of active carbon enriched in nitrogen  
*Annals of the Polish Chemical Society* 2007, 431-434.

#### 4.2.6. Prace pokonferencyjne opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora:

1. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
The role of oxidation in obtaining nitrogen enriched active carbons  
*Proc. Int. Conf. Carbon'08; 2008, CD.*
2. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Nitrogen enriched active carbons obtained by ammoxidation and their physico-chemical properties  
*Proc. Int. Conf. Carbon'08; 2008, CD.*
3. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Active carbons prepared by chemical activation of walnut shells and their application in removal of NO<sub>2</sub> in dry conditions  
*Procc. Int. Conf. Carbon'09; 2009, CD.*
4. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, M. Skrzypczak, H. Wachowska  
Physicochemical properties of active carbons obtained from plum stones by different activation procedure  
*Proc. Int. Conf. Carbon'09; 2009, CD.*
5. **P. Nowicki**, A. Rutkowska, R. Pietrzak  
Activated carbons obtained from sunflower husks for NO<sub>2</sub> removal  
*Proc. of the 10<sup>th</sup> Pannonian Int. Symposium on Catalysis, Kraków, 2010, 316-323.*
6. J. Gościańska, I. Nowak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Physicochemical and catalytic properties of activated carbons modified with silver  
*Proc. of the 10<sup>th</sup> Pannonian Int. Symposium on Catalysis, Kraków, 2010, 175-182.*
7. M. Supłat, **P. Nowicki**, H. Wachowska, R. Pietrzak  
NO<sub>2</sub> removal on adsorbents obtained by pyrolysis of cardboard  
*Procc. Int. Conf. Carbon'10; 2010, CD.*
8. K. Sawicka, **P. Nowicki**, H. Wachowska, R. Pietrzak  
Sorption performance towards NO<sub>2</sub> of nitrogen-enriched adsorbents obtained from sawdust pine  
*Procc. Int. Conf. Carbon'10; 2010, CD.*
9. A. Rutkowska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Carbonaceous materials obtained from sunflower husks for NO<sub>2</sub> removal  
*Procc. Int. Conf. Carbon'10; 2010, CD.*
10. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
NO<sub>2</sub> removal on activated carbons obtained by direct activation of citrus fruit skins  
*Procc. Int. Conf. Carbon'11; 2011, CD.*
11. J. Gościańska, I. Nowak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Epoxidation of cyclohexene on activated carbons modified with silver  
*Procc. Int. Conf. Carbon'11; 2011, CD.*

12. K. Jurewicz, S. Bielawny, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Capacitance behavior of sunflower husks based activated carbons  
*Procc. Int. Conf. Carbon'12; 2012, CD.*
13. K. Jurewicz, **P. Nowicki**, K. Szatkowska, R. Pietrzak  
Capacitance characteristics of nitrogenated activated carbons after thermal modification  
*Procc. Int. Conf. Carbon'12; 2012, CD.*
14. P. Skibiszewska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Application of industrial waste materials in gas pollutions adsorption  
*Procc. Int. Conf. Carbon'12; 2012, CD.*
15. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Agricultural waste materials as precursors of carbonaceous adsorbents  
*Procc. Int. Conf. Carbon'12; 2012, CD.*
16. I. Kuszyńska, **P. Nowicki**, J. Przepiórki, R. Pietrzak  
The influence of mode of activation on properties of activated carbons obtained from pine cones  
*Procc. Int. Conf. Carbon'12; 2012, CD.*
17. J. Gościańska, I. Nowak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
NO<sub>2</sub> removal on activated carbons modified with silver and vanadium  
*Procc. Int. Conf. Carbon'12; 2012, CD.*
18. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, J. Gościańska, I. Nowak  
Badania powierzchni węgla aktywnych modyfikowanych za pomocą AgVO<sub>3</sub> metodą XPS  
*Nauka i przemysł – metody spektroskopowe, nowe wyzwania i możliwości – 566-569, Lublin 2012, ISBN 978-83-7784-086-3.*
19. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Wykorzystanie spektroskopii XPS w badaniach węgla wzbogaconych w azot  
*Nauka i przemysł – metody spektroskopowe, nowe wyzwania i możliwości – 562-565, Lublin 2012, ISBN 978-83-7784-086-3.*
20. A. Figas, J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Removal of nitrogen dioxide on the carbonaceous adsorbents prepared by physical and direct activation of hay  
*Procc. Int. Conf. Carbon'13; 2013, CD.*
21. **P. Nowicki**, J. Kaźmierczak, R. Pietrzak  
Badania za pomocą XPS węgla aktywnych otrzymanych z łusek słonecznika  
*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, 757-760, Lublin 2013, ISBN 978-83-937272-0-9.*
22. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Zdolności sorpcyjne węgla aktywnych otrzymanych przy pomocy mikrofal  
*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, 753-756, Lublin 2013, ISBN 978-83-937272-0-9.*
23. **P. Nowicki**, W. Szymanowski, R. Pietrzak  
Adsorpcja barwników organicznych na modyfikowanych nanorurkach węglowych  
*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, 749-752, Lublin 2013, ISBN 978-83-937272-0-9.*

24. **P. Nowicki**, R. Pietrzak

Wpływ atmosfery wygrzewania azotowanych węgla aktywnych na ich właściwości powierzchniowe – badania XPS

*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, 761-764, Lublin 2013, ISBN 978-83-937272-0-9.

25. K. Jurewicz, S. Bielawny, **P. Nowicki**, J. Kazmierczak, R. Pietrzak

Effects of microwave heating on capacitance properties of nitrogen-enriched activated carbons

*Procc. Int. Conf. Carbon'14; 2014, CD.*

26. J. Kazmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak

Characterization and application of activated carbons produced by the use of microwave radiation

*Procc. Int. Conf. Carbon'14; 2014, CD.*

27. **P. Nowicki**, K. Goździk, J. Kazmierczak, R. Pietrzak

Simultaneous removal of H<sub>2</sub>S and NO<sub>2</sub> on carbonaceous adsorbents prepared from peanut shells

*Procc. Int. Conf. Carbon'14; 2014, CD.*

28. J. Kazmierczak, B. Gralak-Podemska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak

Physicochemical and sorption properties of activated carbons prepared from sawdust with the use of microwave heating

*Procc. Int. Conf. Carbon'14; 2014, CD.*

29. **P. Nowicki**, A. Bazan, R. Pietrzak

NO<sub>2</sub> Removal on Adsorbents Prepared from Pistachio Nut Shells

*Procc. Int. Conf. Carbon'14; 2014, CD.*

30. J. Kazmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak

Węgle aktywne otrzymane za pomocą promieniowania mikrofalowego jako adsorbenty zanieczyszczeń z fazy ciekłej

*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Tom 2, str. 877-880, Lublin 2014, ISBN 978-83-939465-3-2.

31. **P. Nowicki**, K. Goździk, J. Kaźmierczak, R. Pietrzak

Usuwanie barwników organicznych za pomocą adsorbentów otrzymanych przez aktywację fizyczną łupin orzecha ziemnego

*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Tom 2, str. 893-896, Lublin 2014, ISBN 978-83-939465-3-2.

32. J. Kazmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak

Usuwanie błękitu metylenowego za pomocą węgla aktywnych otrzymanych z porolniczych materiałów odpadowych

*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Tom 2, str. 873-876, Lublin 2014, ISBN 978-83-939465-3-2.

33. **P. Nowicki**, A. Bazan, J. Kazmierczak, R. Pietrzak

Wpływ metody aktywacji na zdolności sorpcyjne węgla aktywnych otrzymanych z łupin orzecha pistacjowego

*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Tom 2, str. 889-892, Lublin 2014, ISBN 978-83-939465-3-2.

34. J. Kaźmierczak-Rażna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Węgłe aktywne otrzymane poprzez aktywację fizyczną i chemiczną trocin drzew iglastych jako potencjalne adsorbenty zanieczyszczeń z fazy ciekłej  
*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Tom 2, str. 831-834, Lublin 2015, ISBN 978-83-939465-5-6.
35. J. Kaźmierczak-Rażna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Usuwanie barwników organicznych za pomocą adsorbentów otrzymanych z siana  
*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Tom 2, str. 827-830, Lublin 2015, ISBN 978-83-939465-5-6.
36. A. Bazan, **P. Nowicki**, P. Półrolniczak R. Pietrzak  
Węgłe aktywne otrzymane z pozostałości po ekstrakcji szyszek chmielu – badania za pomocą spektroskopii w podczerwieni  
*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Tom 2, str. 823-826, Lublin 2015, ISBN 978-83-939465-5-6.
37. A. Bazan, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Usuwanie barwników organicznych za pomocą węgla aktywnych otrzymanych z biodegradowalnego odpadu rolniczego  
*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Tom 2, str. 819-822, Lublin 2015, ISBN 978-83-939465-5-6.
38. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Wpływ obróbki termicznej na właściwości powierzchniowe węgla aktywnych modyfikowanych azotem  
*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Tom 2, str. 807-810, Lublin 2015, ISBN 978-83-939465-5-6.
39. **P. Nowicki**, J. Kaźmierczak-Rażna, R. Pietrzak  
Wpływ demineralizacji na właściwości fizykochemiczne adsorbentów węglowych otrzymanych z węgla brunatnego  
*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Tom 2, str. 803-806, Lublin 2015, ISBN 978-83-939465-5-6.
40. R. Pietrzak, **P. Nowicki**  
Wykorzystanie sorbentów węglowych w procesie usuwania NO<sub>2</sub> z gazów odlotowych  
*„Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Tom 2, str. 780-790, Lublin 2015, ISBN 978-83-939465-5-6.
41. J. Kaźmierczak-Rażna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Wpływ metody aktywacji na zdolności sorpcyjne adsorbentów otrzymanych z siana  
*„Nauka i przemysł - lubelskie spotkania studenckie”* str. 23-26, Lublin 2015, ISBN 978-83-939465-4-9.
42. J. Kaźmierczak-Rażna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Węgłe aktywne otrzymane za pomocą aktywacji bezpośredniej jako adsorbenty zanieczyszczeń ciekłych  
*„Nauka i przemysł – lubelskie spotkania studenckie”* str. 19-22, Lublin 2015, ISBN 978-83-939465-4-9.
43. A. Bazan, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Zdolności sorpcyjne węgla aktywnych otrzymanych z łupin orzecha pistacjowego  
*„Nauka i przemysł – lubelskie spotkania studenckie”* str. 15-18, Lublin 2015, ISBN 978-83-939465-4-9.



44. A. Bazan, **P. Nowicki**, R. Pietrzak

Węgłe aktywne otrzymane za pomocą aktywacji chemicznej jako adsorbenty zanieczyszczeń z fazy ciekłej

„*Nauka i przemysł – lubelskie spotkania studenckie*” str. 11-14, Lublin 2015, ISBN 978-83-939465-4-9.

### 4.3 Udział w konferencjach naukowych

#### 4.3.1. Wygłoszone wykłady i komunikaty

1. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
The role of oxidation in obtaining nitrogen enriched active carbons  
*International Carbon Conference on Carbon 2008 (Carbon'08), Nagano, 13-18 lipca 2008*
2. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Właściwości fizykochemiczne azotowanych węgla aktywnych otrzymanych poprzez fizyczną i chemiczną aktywację węgla brunatnego  
*VI Kongres Technologii Chemicznej, Warszawa, 21-25 czerwca 2009*
3. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, K. Jurewicz, H. Wachowska  
Effect of the precursor metamorphism degree on the electrochemical properties of activated carbons  
*3<sup>rd</sup> International Conference “Carbon for energy storage and environment protection” CESEP'09, Torremolinos (Hiszpania) 25-29 października 2009*
4. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Post-agricultural wastes as precursors of carbonaceous adsorbents  
*VI International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites, Ustroń – Jaszowiec, 7-10 listopada 2011*
5. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, J. Kaźmierczak  
Adsorpcja NO<sub>2</sub> na adsorbentach węglowych  
*56 Zjazd PTChem i SITPChem, Siedlce, 16-20 września 2013*
6. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Sorption capacity of adsorbents obtained from hay with the use of microwave radiation  
*VIII International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites Ustroń – Jaszowiec, 12-15 listopada 2013*
7. J. Kaźmierczak-Razna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Wpływ metody aktywacji na zdolności sorpcyjne węgla aktywnych otrzymanych z trocin  
*IX Poznańska Konferencja Naukowa „Chemia – nowe wyzwania dla nauki i przemysłu, Poznań, 5 grudnia 2014*
8. J. Kaźmierczak-Razna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Odpady z rolnictwa i przemysłu jako potencjalne prekursory adsorbentów węglowych  
*XI Międzynarodowe Forum Gospodarki Odpadami - Kompleksowe zarządzanie gospodarką odpadami, Kołobrzeg, 24-27 maja 2015*
9. A. Bazan, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Zdolności sorpcyjne węgla aktywnych otrzymanych z łupin orzecha pistacjowego -  
*III Ogólnopolska Konferencja „Nauka i przemysł – lubelskie spotkania studenckie” Lublin, 8 czerwca 2015*
10. J. Kaźmierczak-Rażna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Wpływ metody aktywacji na zdolności sorpcyjne adsorbentów otrzymanych z siana  
*III Ogólnopolska Konferencja „Nauka i przemysł – lubelskie spotkania studenckie” Lublin 8 czerwca 2015*
11. R. Pietrzak, **P. Nowicki**  
Wykorzystanie sorbentów węglowych w procesie usuwania NO<sub>2</sub> z gazów odlotowych  
*VIII Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 9-11 czerwca 2015*



12. J. Kaźmierczak-Rażna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Węgłe aktywne otrzymane poprzez aktywację fizyczną i chemiczną trocin drzew iglastych jako potencjalne adsorbenty zanieczyszczeń z fazy ciekłej  
*VIII Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”*, Lublin, 9-11 czerwca 2015
13. K. Wasiński, **P. Nowicki**, R. Pietrzak, P. Półrolniczak, M. Walkowiak  
Porowate węgle jako materiały elektrodowe kondensatorów elektrochemicznych  
*58 Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego, Gdańsk, 21-25 września 2015*
14. J. Kaźmierczak-Rażna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Właściwości sorpcyjne materiałów węglowych otrzymanych z biomasy za pomocą promieniowania mikrofalowego  
*58 Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego, Gdańsk, 21-25 września 2015*
15. **P. Nowicki**  
Porolnicze materiały odpadowe jako prekursorzy węgla aktywnych  
*40. Międzynarodowe Seminarium Naukowo - Techniczne „Chemistry for Agriculture” Karpacz, 29 listopada - 2 grudnia 2015*
16. A. Bazan, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Usuwanie NO<sub>2</sub> za pomocą adsorbentów otrzymanych z pozostałości po ekstrakcji nadkrytycznej rumianku  
*40. Międzynarodowe Seminarium Naukowo - Techniczne „Chemistry for Agriculture” Karpacz, 29 listopada - 2 grudnia 2015*

#### 4.3.2. Prezentacje posterowe

1. R. Pietrzak, H. Wachowska, **P. Nowicki**  
The effect of coal oxidation on yield and structure of extracts *III Międzynarodowa Konferencja “Nowe Materiały i Kompozyty Węglowe”, Ustroń-Zawodzie 9 – 12 maja 2004*
2. K. Jurewicz, K. Babel, **P. Nowicki**, A. Ziółkowski, H. Wachowska  
Changing the capacitance behavior of brown coal through ammoxidation  
*III Międzynarodowa Konferencja “Nowe Materiały i Kompozyty Węglowe”, Ustroń-Zawodzie 9 – 12 maja 2004*
3. R. Pietrzak, H. Wachowska, **P. Nowicki**  
Analiza ekstraktów otrzymanych z utlenionych węgla o zróżnicowanej zawartości siarki  
*XLVIII Zjazd PTChem i SITPChem 2005, Poznań, 18-22 września 2005*
4. M. Kozłowski, H. Wachowska, J. Yperman, **P. Nowicki**  
Zastosowanie redukcji i alkilowania do badania związków siarki zawartych w węglach kopalnych  
*XLVIII Zjazd PTChem i SITPChem 2005, Poznań, 18-22 września 2005*
5. R. Pietrzak, H. Wachowska, **P. Nowicki**  
Preparation of nitrogen-enriched activated carbons from brown coal *1<sup>st</sup> International Conference “Carbon for Energy Storage and Environmental Protection” CESEP 2005, Orlean, (Francja), 2-6 października 2005*
6. K. Jurewicz, K. Babel, R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Activated and ammoxidised coals for supercapacitor  
*1<sup>st</sup> International Conference “Carbon for Energy Storage and Environmental Protection” CESEP 2005, Orlean, (Francja), 2-6 października 2005*
7. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Otrzymywanie węgla aktywnych z węgla płomiennego za pomocą różnych czynników aktywujących *VIII Środowiskowa Konferencja Naukowa Chemików „Chemia w zrównoważonym rozwoju” Poznań, 5-7 czerwca 2006*
8. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Badania powierzchni utlenionych węgla pozbawionych pirytu metodą XPS *VIII Środowiskowa Konferencja Naukowa Chemików „Chemia w zrównoważonym rozwoju” Poznań, 5-7 czerwca 2006*

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

9. E. Stęchlicki, **P. Nowicki**, H. Wachowska, K. Jurewicz  
Węgiel płomienny wzbogacony w azot jako prekursor węgla aktywnych  
*VIII Środowiskowa Konferencja Naukowa Chemików „Chemia w zrównoważonym rozwoju” Poznań, 5-7 czerwca 2006*
10. K. Jurewicz, R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska, K. Babel  
Enhance capacitance of active carbon through chemical reaction with urea  
*The International Conference on Carbon 2006 (CARBON 2006), Aberdeen (Szkocja), 16-21 lipca 2006*
11. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Właściwości fizykochemiczne węgla aktywnych wzbogaconych w azot  
*XLIX Zjazd PTChem i SITPChem 2006, Gdańsk, 18-22 września 2006*
12. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska, P. Puślecki  
Wpływ stopnia uwęglenia na właściwości i strukturę węgla aktywnych wzbogaconych w azot w wyniku reakcji z mocznikiem  
*XLIX Zjazd PTChem i SITPChem 2006, Gdańsk, 18-22 września 2006*
13. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Modyfikacja węgla aktywnych poprzez reakcję z mocznikiem  
*V Kongres Technologii Chemicznej, Poznań, 11-15 września 2006*
14. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Aktywacja antracytu syberyjskiego za pomocą wodorotlenków metali alkalicznych  
*V Kongres Technologii Chemicznej, Poznań, 11-15 września 2006*
15. K. Jurewicz, **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
On changing the capacitance behaviour of active carbon obtained from flame coal through Ammoxidation  
*2<sup>nd</sup> International Conference “Carbon for energy storage and environment protection” CESEP’07, Kraków 2-6 września 2007*
16. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
XPS study of nitrogen-enriched activated carbons prepared from flame coal  
*2<sup>nd</sup> International Conference “Carbon for energy storage and environment protection” CESEP’07, Kraków 2-6 września 2007*
17. **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Preparation of cheap active carbons from various carbonaceous materials  
*2<sup>nd</sup> International Conference “Carbon for energy storage and environment protection” CESEP’07, Kraków 2-6 września 2007*
18. M. Latocha, B. Pilawa, R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Conditions of photodynamic therapy of tumor cells examined by carbonized coal and EPR spectroscopy  
*2<sup>nd</sup> International Conference “Carbon for energy storage and environment protection” CESEP’07, Kraków 2-6 września 2007*
19. M. Kraszkiewicz, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Wpływ utleniania na właściwości powierzchniowe węgla aktywnych modyfikowanych mocznikiem  
*50 Jubileuszowy Zjazd PTChem i SITPChem oraz 11 Międzynarodowa Konferencja Chemii Środowiska, Toruń 9-12 września 2007*
20. I. Kuszyńska, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Preparatyka aktywnych materiałów węglowych z surowców odpadowych  
*50 Jubileuszowy Zjazd PTChem i SITPChem oraz 11 Międzynarodowa Konferencja Chemii Środowiska, Toruń 9-12 września 2007*
21. **P. Nowicki**, K. Jurewicz, H. Wachowska, R. Pietrzak  
Węgla aktywne wzbogacone w azot jako materiał elektrodowy dla kondensatorów elektrochemicznych  
*50 Jubileuszowy Zjazd PTChem i SITPChem oraz 11 Międzynarodowa Konferencja Chemii Środowiska, Toruń 9-12 września 2007*

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

22. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Nitrogen enriched active carbons obtained by ammoxidation and their physico-chemical properties  
*International Carbon Conference on Carbon 2008 (Carbon'08), Nagano, 13-18 lipca 2008*
23. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Wpływ stopnia uwęglenia prekursora na właściwości fizykochemiczne węgla aktywnych wzbogaconych w azot na drodze amoksydacji  
*51 Zjazd PTChem i SITPChem, Opole, 7-11 września 2008*
24. **P. Nowicki**, K. Jurewicz, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Azotowane węgle aktywne jako materiał elektrodowy dla kondensatorów elektrochemicznych  
*51 Zjazd PTChem i SITPChem, Opole, 7-11 września 2008*
25. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, M. Nowicka, H. Wachowska  
Sorption properties of active carbons obtained from walnut shells by chemical and physical activation  
*3<sup>rd</sup> Inter. Symposium on Carbon for Catalysis (CarboCat III), Berlin 9-12 listopada 2008*
26. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Amoksydowane węgle aktywne jako adsorbenty do usuwania zanieczyszczeń z fazy gazowej i ciekłej  
*Paliwa - Energia - Ochrona Środowiska", Kraków, 28-29 maja 2009*
27. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Badania powierzchni węgla aktywnych otrzymanych przez amoksydację i aktywację chemiczną węgla kopalnych metodą XPS  
*"Paliwa - Energia - Ochrona Środowiska", Kraków, 28-29 maja 2009*
28. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Active carbons prepared by chemical activation of walnut shells and their application in removal of NO<sub>2</sub> in dry conditions  
*International Carbon Conference on Carbon 2009 (Carbon'09), Biarritz (Francja) 14-19 czerwca 2009*
29. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, M. Skrzypczak, H. Wachowska  
Physicochemical properties of active carbons obtained from plum stones by different activation procedure  
*International Carbon Conference on Carbon 2009 (Carbon'09), Biarritz (Francja) 14-19 czerwca 2009*
30. **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Wpływ amoksydacji na kształtowanie się struktury porowatej oraz właściwości powierzchniowe węgla aktywnych  
*VI Kongres Technologii Chemicznej, Warszawa, 21-25 czerwca 2009*
31. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
Adsorpcja NO<sub>2</sub> na amoksydowanym węglu aktywnym  
*VI Kongres Technologii Chemicznej, Warszawa, 21-25 czerwca 2009*
32. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, M. Dobkiewicz, H. Wachowska  
The effect of ammoxidation process on NO<sub>2</sub> sorption abilities of active carbons  
*The 8th Torunian Carbon Symposium: Fabrication, Modification and Investigations of Novel Forms of Carbon, Toruń, 2-5 września 2009*
33. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, K. Jurewicz, H. Wachowska  
Active carbons modified by ammoxidation and reaction with urea as a electrode material for supercapacitors  
*3<sup>rd</sup> International Conference "Carbon for energy storage and environment protection" CESEP'09, Torremolinos (Hiszpania) 25-29 października 2009*
34. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Active carbons prepared by chemical activation of plum stones and their application in removal of NO<sub>2</sub>

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

- 3<sup>rd</sup> International Conference "Carbon for energy storage and environment protection" CESEP'09, Torremolinos (Hiszpania) 25-29 października 2009*
35. A. Rutkowska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Carbonaceous materials obtained from sunflower husk for NO<sub>2</sub> removal  
*Annual World Conference on Carbon, Carbon 2010, Clemson (USA), 11-16 lipca 2010*
36. K. Sawicka, **P. Nowicki**, H. Wachowska, R. Pietrzak  
Sorption performance towards NO<sub>2</sub> of nitrogen-enriched adsorbents obtained from sawdust  
*Annual World Conference on Carbon, Carbon 2010, Clemson (USA), 11-16 lipca 2010*
37. M. Supłat, **P. Nowicki**, H. Wachowska, R. Pietrzak  
NO<sub>2</sub> removal on adsorbents obtained by pyrolysis of used cardboard  
*The Annual World Conference on Carbon, Carbon 2010, Clemson (USA), 11-16 lipca 2010*
38. J. Goscińska, I. Nowak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Physicochemical and catalytic properties of activated carbons modified with silver  
*10 Pannonian Inter. Symposium on Catalysis, Kraków, 29 sierpnia - 2 września 2010*
39. **P. Nowicki**, A. Rutkowska, R. Pietrzak  
Activated carbons obtained from sunflower husks for NO<sub>2</sub> removal  
*10 Pannonian Inter. Symposium on Catalysis, Kraków, 29 sierpnia - 2 września 2010*
40. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, A. Rutkowska  
NO<sub>2</sub> sorption abilities of adsorbents obtained by physical activation of sunflower seed hulls  
*V International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites, Ustroń – Jaszowiec, 8-10 grudnia 2010*
41. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, K. Sawicka, H. Wachowska  
NO<sub>2</sub> removal with the use of carbon adsorbents obtained from pine sawdust enriched in nitrogen by a treatment with urea  
*V International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites, Ustroń – Jaszowiec, 8-10 grudnia 2010*
42. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Physico-chemical and adsorption properties of active carbons obtained from waste products  
*V International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites, Ustroń – Jaszowiec, 8-10 grudnia 2010*
43. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, M. Supłat, H. Wachowska  
Removal of NO<sub>2</sub> by adsorbents obtained by pyrolysis of used cardboard  
*V International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites, Ustroń – Jaszowiec, 8-10 grudnia 2010*
44. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Zastosowanie spektroskopii XPS w badaniach węgla aktywnych wzbogaconych w azot  
*XV Jubileuszowe Ogólnopolskie Sympozjum n.t. Zastosowanie metod spektroskopowych w badaniu materiałów i związków chemicznych, Poznań, 25-27 maja 2011*
45. J. Goscińska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak, I. Nowak  
Preparation and physicochemical properties of silver modified activated carbons made from waste materials  
*22<sup>nd</sup> North American Catalysis Society Meeting, 5-10 czerwca 2011, Detroit, (USA)*
46. K. Jurewicz, **P. Nowicki**, K. Babeł, R. Pietrzak, H. Wachowska  
The influence of thermal modification on pseudocapacitance of nitrogenated active carbons  
*2<sup>nd</sup> Inter. Symp. on Enhanced Electrochemical Capacitors, Poznań 12-16 czerwca 2011*
47. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
NO<sub>2</sub> removal on activated carbons obtained by direct activation of citrus fruit skins  
*The Annual World Conference on Carbon 2011, Shanghai (Chiny), 24-29 lipca 2011*
48. J. Gościńska, I. Nowak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Epoxidation of cyclohexene on activated carbons modified with silver  
*The Annual World Conference on Carbon 2011, Shanghai (Chiny), 24-29 lipca 2011*
49. J. Goscińska, I. Nowak, **P. Nowicki**, M. Hofman, R. Pietrzak  
Thermal analysis of activated carbon modified with silver metavanadate



dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

- 1<sup>st</sup> Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry CEEC-TAC1, Craiova (Rumunia) 7-10 września 20011*
50. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Węgle aktywne otrzymane z biomasy i ich potencjalne wykorzystanie w procesach adsorpcyjnych  
*54 Zjazd PTChem i SITPChem, Lublin, 18-22 września 2011*
51. **P. Nowicki**, J. Gościańska, I. Nowak, R. Pietrzak  
Węgle aktywne otrzymane z pestek śliwek jako nośniki katalizatorów srebrowo-wanadowych  
*54 Zjazd PTChem i SITPChem, Lublin, 18-22 września 2011*
52. **P. Nowicki**, M. Hofman, R. Pietrzak  
Sorption properties of activated carbons obtained by physical activation of biomass  
*4<sup>th</sup> International Conference on Carbons for Energy Storage/Conversion and Environment Protection” CESEP’11, Vichy (Francja) 25-29 września 2011*
53. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Activated carbons obtained by physical activation of fruit skins as adsorbents for gas phase pollutions  
*4<sup>th</sup> International Conference on Carbons for Energy Storage/Conversion and Environment Protection” CESEP’11, Vichy (Francja) 25-29 września 2011*
54. J. Goscińska, I. Nowak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Effect of silver doping on catalytic activity of carbons obtained from walnuts shells  
*4<sup>th</sup> International Conference on Carbons for Energy Storage/Conversion and Environment Protection” CESEP’11, Vichy (Francja) 25-29 września 2011*
55. J. Goscińska, I. Nowak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Hydrogenation of hexene over activated carbons modified with silver and vanadium  
*VI International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites, Ustroń – Jaszowiec, 7-10 listopada 2011*
56. M. Loba, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
The influence of atmosphere on the amount of nitrogen introduced into activated carbon with the used of ammonia  
*VI International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites, Ustroń – Jaszowiec, 7-10 listopada 2011*
57. K. Jurewicz, **P. Nowicki**, K. Szatkowska, R. Pietrzak, K. Babel  
Capacitance behaviour of nitrogen enriched activated carbons after thermal modification  
*VI International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites, Ustroń – Jaszowiec, 7-10 listopada 2011*
58. I. Kuszyńska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Cherry stones as precursor of activated carbons  
*VI International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites, Ustroń – Jaszowiec, 7-10 listopada 2011*
59. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Adsorbenty węglowe otrzymane z odpadów i ich potencjalne wykorzystanie w usuwaniu zanieczyszczeń gazowych  
*„Misja chemo-, bio- i nanotechnologii w Wielkopolskim Centrum Zaawansowanych Technologii – Materiały i Biomateriały”, Poznań, 28-29 listopada 2011*
60. R. Pietrzak, **P. Nowicki**, J. Gościańska, I. Nowak  
Badania powierzchni węgla aktywnych modyfikowanych za pomocą AgVO<sub>3</sub> metodą XPS  
*V Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 12-14 czerwca 2012*
61. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Wykorzystanie spektroskopii XPS w badaniach węgla wzbogaconych w azot  
*V Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 12-14 czerwca 2012*

62. K. Jurewicz, S. Bielawny, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Capacitance behavior of sunflower husks based activated carbons  
*The Annual World Conference on Carbon 2012, Kraków, 17-22 czerwca 2012*
63. K. Jurewicz, **P. Nowicki**, K. Szatkowska, R. Pietrzak  
Capacitance characteristics of nitrogenated activated carbons after thermal modification  
*The Annual World Conference on Carbon 2012, Kraków, 17-22 czerwca 2012*
64. P. Skibiszewska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Application of industrial waste materials in gas pollutions adsorption  
*The Annual World Conference on Carbon 2012, Kraków, 17-22 czerwca 2012*
65. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Agricultural waste materials as precursors of carbonaceous adsorbents  
*The Annual World Conference on Carbon 2012, Kraków, 17-22 czerwca 2012*
66. I. Kuszyńska, **P. Nowicki**, J. Przepiórski, R. Pietrzak  
The influence of mode of activation on properties of activated carbons obtained from pine cones  
*The Annual World Conference on Carbon 2012, Kraków, 17-22 czerwca 2012*
67. J. Goscińska, I. Nowak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
NO<sub>2</sub> removal on activated carbons modified with silver and vanadium  
*The Annual World Conference on Carbon 2012, Kraków, 17-22 czerwca 2012*
68. J. Goscińska, I. Nowak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Adsorption of L-phenylalanine on carbon nanotubes impregnated with silver  
*5<sup>th</sup> Internat. Symposium on Carbon for Catalysis Brixen, (Włochy), 28-30 czerwca 2012*
69. Pietrzak, J. Goscińska, **P. Nowicki**, I. Nowak  
The effect of surface modification on catalytic activity of the activated carbons obtained from waste materials in oxidation of cyclohexene  
*5<sup>th</sup> Internat. Symposium on Carbon for Catalysis Brixen, (Włochy), 28-30 czerwca 2012*
70. **P. Nowicki**, P. Skibiszewska, R. Pietrzak  
Removal of hydrogen sulfide on the adsorbents obtained by direct and physical activation of coffee and tobacco industry waste materials  
*5<sup>th</sup> Internat. Symposium on Carbon for Catalysis Brixen, (Włochy), 28-30 czerwca 2012*
71. P. Skibiszewska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Application of coffee industry waste materials in hydrogen sulfide adsorption  
*Eight International Symposium Effects of Surface Heterogeneity in Adsorption and Catalysis on Solids (ISSHAC-8 Symposium) Kraków, 27-31 sierpnia 2012*
72. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Sorption properties of activated carbons obtained from corn cobs by chemical and physical activation  
*Eight International Symposium Effects of Surface Heterogeneity in Adsorption and Catalysis on Solids (ISSHAC-8 Symposium) Kraków, 27-31 sierpnia 2012*
73. P. Skibiszewska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Węgle aktywne otrzymane poprzez aktywację fizyczną odpadów pochodzących z produkcji kawy i papierosów jako adsorbenty zanieczyszczeń gazowych  
*55 Zjazd PTChem i SITPChem, Białystok, 16-20 września 2012*
74. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Węgle aktywne otrzymane poprzez fizyczną i chemiczną aktywację odpadów rolniczych jako potencjalne adsorbenty zanieczyszczeń z fazy ciekłej  
*55 Zjazd PTChem i SITPChem, Białystok, 16-20 września 2012*
75. **P. Nowicki**, J. Kaźmierczak, P. Skibiszewska, R. Pietrzak  
Odpady przemysłowe i rolnicze jako prekursorzy węgla aktywnych  
*VI Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 4-6 czerwca 2013*

76. J. Goscińska, **P. Nowicki**, I. Nowak, R. Pietrzak  
Węgłe aktywne modyfikowane metawanadaniem(V) srebra jako efektywne katalizatory utleniania styrenu  
*VI Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 4-6 czerwca 2013*
77. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Wpływ atmosfery wygrzewania azotowanych węgla aktywnych na ich właściwości powierzchniowe – badania XPS  
*VI Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 4-6 czerwca 2013*
78. **P. Nowicki**, J. Kaźmierczak, R. Pietrzak  
Badania za pomocą XPS węgla aktywnych otrzymanych z łusek słonecznika  
*VI Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 4-6 czerwca 2013*
79. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Zdolności sorpcyjne węgla aktywnych otrzymanych przy pomocy mikrofal  
*VI Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 4-6 czerwca 2013*
80. **P. Nowicki**, W. Szymanowski, R. Pietrzak  
Adsorpcja barwników organicznych na modyfikowanych nanorurkach węglowych  
*VI Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 4-6 czerwca 2013*
81. A. Figas, J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Removal of nitrogen dioxide on the carbonaceous adsorbents prepared by physical and direct activation of hay  
*The Annual World Conference on Carbon 2013, Rio de Janeiro, (Brazylia), 14-19 lipca 2013*
82. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
The use of microwave radiation for obtaining activated carbons enriched in nitrogen; thermogravimetric study  
*2nd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry (CEEC-TAC2), Wilno (Litwa), 27-30 sierpnia 2013*
83. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Thermogravimetric studies of adsorbents of gas phase pollutants obtained with the use of microwave radiation  
*2nd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry (CEEC-TAC2), Wilno (Litwa), 27-30 sierpnia 2013*
84. **P. Nowicki**, W. Szymanowski, R. Pietrzak  
Textural, thermal and surface properties of the functionalised activated carbons and nanotubes  
*2nd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry (CEEC-TAC2), Wilno (Litwa), 27-30 sierpnia 2013*
85. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Usuwanie NO<sub>2</sub> oraz H<sub>2</sub>S za pomocą węgla aktywnych otrzymanych z pestek wiśni  
*56 Zjazd PTChem i SITPChem, Siedlce, 16-20 września 2013*
86. **P. Nowicki**, A. Kornowicz, R. Pietrzak  
Właściwości fizykochemiczne węgla aktywnych otrzymanych poprzez aktywację fizyczną węgla brunatnych  
*56 Zjazd PTChem i SITPChem, Siedlce, 16-20 września 2013*
87. **P. Nowicki**, A. Figas, R. Pietrzak  
Usuwanie zanieczyszczeń gazowych i ciekłych za pomocą węgla aktywnych otrzymanych z siana  
*56 Zjazd PTChem i SITPChem, Siedlce, 16-20 września 2013*



88. K. Jurewicz, S. Bielawny, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Supercapacitors from vegetable waste-based activated carbons  
*5<sup>th</sup> International Conference on Carbons for Energy Storage/Conversion and Environment Protection* CESEP'13, Müllheim (Niemcy) 23-26 września 2013
89. S. Bielawny, **P. Nowicki**, R. Pietrzak, K. Jurewicz  
Asymmetrical supercapacitors from vegetable waste-based activated carbons  
*VIII International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites Ustroń – Jaszowiec, 12-15 listopada 2013*
90. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Removal of NO<sub>2</sub> on the chars obtained from hay and sunflower husks  
*VIII International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites Ustroń – Jaszowiec, 12-15 listopada 2013*
91. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Sorption properties of activated carbons obtained from sunflower husks with the use of microwave radiation  
*VIII International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites Ustroń – Jaszowiec, 12-15 listopada 2013*
92. **P. Nowicki**, M. Gil, P. Mergo, R. Pietrzak  
TG, IR and XPS study of ammoxidised coals  
*VIII International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites Ustroń – Jaszowiec, 12-15 listopada 2013*
93. **P. Nowicki**, J. Goscianska, I. Nowak, R. Pietrzak  
Adsorption of nitrogen dioxide on silver and vanadium doped activated carbons  
*VIII International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites Ustroń – Jaszowiec, 12-15 listopada 2013*
94. **P. Nowicki**, W. Szymanowski, R. Pietrzak  
Adsorption of organic dyes and copper(II) ions on modified activated carbons  
*VIII International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites Ustroń – Jaszowiec, 12-15 listopada 2013*
95. **P. Nowicki**, A. Kornowicz, J. Kaźmierczak, R. Pietrzak  
Activated carbons prepared by physical activation of low quality brown coals and their potential application in removal of hydrogen sulfide  
*VIII International Scientific and Technical Conference: Carbon materials & Polymer Composites Ustroń – Jaszowiec, 12-15 listopada 2013*
96. J. Goscianska, **P. Nowicki**, I. Nowak, R. Pietrzak  
Characterization and catalytic performance of activated carbons modified with AgVO<sub>3</sub>  
*10<sup>th</sup> International Symposium on the Characterization of Porous Solids (COPS-X) Granada (Hiszpania), 11-14 maja 2014*
97. **P. Nowicki**, A. Kornowicz, J. Kaźmierczak, R. Pietrzak  
Physicochemical and sorption properties of activated carbons prepared from brown coal  
*10<sup>th</sup> International Symposium on the Characterization of Porous Solids (COPS-X) Granada (Hiszpania), 11-14 maja 2014*
98. **P. Nowicki**, J. Kaźmierczak, R. Pietrzak  
Preparation of activated carbons by direct and physical activation of biomass and their potential application for simultaneous adsorption of NO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S  
*10<sup>th</sup> International Symposium on the Characterization of Porous Solids (COPS-X) Granada (Hiszpania), 11-14 maja 2014*
99. J. Kaźmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Węgle aktywne otrzymane za pomocą promieniowania mikrofalowego jako adsorbenty zanieczyszczeń z fazy ciekłej  
*VII Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 10-12 czerwca 2014*

100. **P. Nowicki**, K. Goździk, J. Kazmierczak, R. Pietrzak  
Usuwanie barwników organicznych za pomocą adsorbentów otrzymanych przez aktywację fizyczną łupin orzecha ziemnego  
*VII Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 10-12 czerwca 2014*
101. **P. Nowicki**, A. Bazan, J. Kazmierczak, R. Pietrzak  
Wpływ metody aktywacji na zdolności sorpcyjne węgla aktywnych otrzymanych z łupin orzecha pistacjowego  
*VII Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 10-12 czerwca 2014*
102. J. Kazmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Usuwanie błękitu metylenowego za pomocą węgla aktywnych otrzymanych z porolniczych materiałów odpadowych  
*VII Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 10-12 czerwca 2014*
103. J. Kazmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Elimination of organic and inorganic pollutants by adsorption on activated carbons prepared from hay with the use of microwave radiation  
*6<sup>th</sup> International Symposium on Carbon for Catalysis, Trondheim (Norwegia), 22-25 czerwca 2014*
104. **P. Nowicki**, P. Skibiszewska, R. Pietrzak  
Activated carbons prepared from tobacco industry waste materials and their potential application in adsorption of toxic gases and organic dyes  
*6<sup>th</sup> International Symposium on Carbon for Catalysis, Trondheim (Norwegia), 22-25 czerwca 2014*
105. **P. Nowicki**, J. Kazmierczak, R. Pietrzak  
Physicochemical and sorption properties of activated carbons obtained by chemical activation of citrus fruit skins  
*6<sup>th</sup> International Symposium on Carbon for Catalysis, Trondheim (Norwegia), 22-25 czerwca 2014*
106. K. Jurewicz, S. Bielawny, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Effects of microwave heating on capacitance properties of nitrogen-enriched activated carbons  
*The Annual World Conference on Carbon 2014, Jeju (Korea Płd.), 29 czerwca - 4 lipca 2014*
107. J. Kazmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Characterization and application of activated carbons produced by the use of microwave radiation  
*The Annual World Conference on Carbon 2014, Jeju (Korea Płd.), 29 czerwca - 4 lipca 2014*
108. **P. Nowicki**, K. Goździk, J. Kazmierczak, R. Pietrzak  
Simultaneous removal of H<sub>2</sub>S and NO<sub>2</sub> on carbonaceous adsorbents prepared from peanut shells  
*The Annual World Conference on Carbon 2014, Jeju (Korea Płd.), 29 czerwca - 4 lipca 2014*
109. **P. Nowicki**, A. Bazan, R. Pietrzak  
NO<sub>2</sub> Removal on adsorbents prepared from pistachio nut shells  
*The Annual World Conference on Carbon 2014, Jeju (Korea Płd.), 29 czerwca - 4 lipca 2014*
110. J. Kazmierczak, B. Gralak-Podemska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Physicochemical and sorption properties of activated carbons prepared from sawdust with the use of microwave heating

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

*The Annual World Conference on Carbon 2014, Jeju (Korea Płd.), 29 czerwca - 4 lipca 2014*

111. J. Kazmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Characterization and application of activated carbons prepared by direct activation of hay  
*Fourteenth Polish - Ukrainian Symposium Theoretical and Experimental Studies of Interfacial Phenomena and Their Technological Applications, Zakopane, 9 - 13 września 2014*
112. J. Kazmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
The use of microwave radiation for obtaining activated carbons by chemical activation with  $H_3PO_4$   
*Fourteenth Polish - Ukrainian Symposium Theoretical and Experimental Studies of Interfacial Phenomena and Their Technological Applications, Zakopane, 9 - 13 września 2014*
113. **P. Nowicki**, J. Kazmierczak, R. Pietrzak  
Removal of organic and inorganic pollutants on waste material based activated carbons  
*Fourteenth Polish - Ukrainian Symposium Theoretical and Experimental Studies of Interfacial Phenomena and Their Technological Applications, Zakopane, 9 - 13 września 2014*
114. J. Kazmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Preparation of sawdust-based activated carbons and their application in dye wastewater treatment  
*The 9<sup>th</sup> Torunian Carbon Symposium, Toruń, 14 - 18 września 2014*
115. J. Kazmierczak, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Removal of toxic gases on the activated carbons obtained from hay with the use of microwave radiation  
*The 9<sup>th</sup> Torunian Carbon Symposium, Toruń, 14 - 18 września 2014*
116. **P. Nowicki**, J. Kazmierczak, R. Pietrzak  
Lignite with high ash content as a potential precursor of low-cost nitrogen dioxide adsorbents  
*The 9<sup>th</sup> Torunian Carbon Symposium, Toruń, 14 - 18 września 2014*
117. J. Kazmierczak-Razna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Zastosowanie adsorbentów węglowych otrzymanych za pomocą promieniowania mikrofalowego w procesie usuwania zamieszczeń z wody  
*II Międzynarodowa Konferencja Naukowa – Oxygenalia 2014, Poznań, 7-8 listopada 2014*
118. J. Kazmierczak-Razna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Usuwanie zanieczyszczeń gazowych za pomocą adsorbentów otrzymanych z odpadów biodegradowalnych  
*IX Poznańska Konferencja Naukowa „Chemia – nowe wyzwania dla nauki i przemysłu, Poznań, 5 grudnia 2014*
119. **P. Nowicki**, J. Kazmierczak-Razna, R. Pietrzak  
Wykorzystanie odpadów przemysłowych i rolniczych jako prekursorów tanich i efektywnych adsorbentów węglowych  
*IX Poznańska Konferencja Naukowa „Chemia – nowe wyzwania dla nauki i przemysłu, Poznań, 5 grudnia 2014*
120. **P. Nowicki**, J. Kazmierczak-Razna, R. Pietrzak  
Produkcja węgla aktywnych jako alternatywny kierunek wykorzystania niskiej jakości węgla  
*IX Poznańska Konferencja Naukowa „Chemia – nowe wyzwania dla nauki i przemysłu, Poznań, 5 grudnia 2014*
121. A. Bazan, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Porolnicze materiały odpadowe jako prekursorzy adsorbentów zanieczyszczeń z fazy ciekłej  
*IX Poznańska Konferencja Naukowa „Chemia – nowe wyzwania dla nauki i przemysłu, Poznań, 5 grudnia 2014*

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

122. A. Bazan, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Usuwanie NO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>S przy pomocy adsorbentów węglowych otrzymanych z łupin orzecha pistacjowego  
*IX Poznańska Konferencja Naukowa „Chemia – nowe wyzwania dla nauki i przemysłu, Poznań, 5 grudnia 2014*
123. J. Kazmierczak-Razna, B. Gralak-Podemska, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Sawdust pellets from coniferous species as precursors of carbonaceous adsorbents  
*4<sup>th</sup> European Young Engineers Conference 2015, Warszawa, 27-29 kwietnia 2015*
124. A. Bazan, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Elimination of pollutants by adsorption onto activated carbons prepared from pistachio nut shells  
*4<sup>th</sup> European Young Engineers Conference 2015, Warszawa, 27-29 kwietnia 2015*
125. A. Bazan, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Węgłe aktywne otrzymane za pomocą aktywacji chemicznej jako adsorbenty zanieczyszczeń z fazy ciekłej  
*III Ogólnopolska Konferencja „Nauka i przemysł – lubelskie spotkania studenckie” Lublin, 8 czerwca 2015*
126. J. Kaźmierczak-Rażna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Węgłe aktywne otrzymane za pomocą aktywacji bezpośredniej jako adsorbenty zanieczyszczeń ciekłych  
*III Ogólnopolska Konferencja „Nauka i przemysł – lubelskie spotkania studenckie” Lublin, 8 czerwca 2015*
127. J. Kaźmierczak-Rażna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Usuwanie barwników organicznych za pomocą adsorbentów otrzymanych z siana  
*VIII Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 9-11 czerwca 2015*
128. A. Bazan, P. Nowicki, P. Półrolniczak R. Pietrzak  
Węgłe aktywne otrzymane z pozostałości po ekstrakcji szyszek chmielu – badania za pomocą spektroskopii w podczerwieni  
*VIII Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 9-11 czerwca 2015*
129. A. Bazan, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Usuwanie barwników organicznych za pomocą węgla aktywnych otrzymanych z biodegradowalnego odpadu rolniczego  
*VIII Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 9-11 czerwca 2015*
130. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Wpływ obróbki termicznej na właściwości powierzchniowe węgla aktywnych modyfikowanych azotem  
*VIII Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 9-11 czerwca 2015*
131. **P. Nowicki**, J. Kaźmierczak-Rażna, R. Pietrzak  
Wpływ demineralizacji na właściwości fizykochemiczne adsorbentów węglowych otrzymanych z węgla brunatnego  
*VIII Ogólnopolskie Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe w praktyce, nowe wyzwania i możliwości”, Lublin, 9-11 czerwca 2015*
132. K. Jurewicz, S. Bielawny, J. Kaźmierczak-Rażna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Comparison of capacitance behaviour of N-doped activated carbons obtained by conventional and microwave activation of brown coal  
*4<sup>th</sup> International Symposium on Enhanced Electrochemical Capacitors, Montpellier, Francja, 8-12 czerwca 2015*

133. **P. Nowicki**  
The effect of mineral matter on the physicochemical and sorption properties of brown coal-based activated carbons  
*Ninth International Symposium Effects of Surface Heterogeneity in Adsorption and Catalysis on Solids (ISSHAC-9 Symposium), Wrocław, 17-22 czerwca 2015*
134. **P. Nowicki**, M. Gil, P. Mergo, R. Pietrzak  
Preparation and physicochemical characterisation of functionalised carbon nanotubes  
*Ninth International Symposium Effects of Surface Heterogeneity in Adsorption and Catalysis on Solids (ISSHAC-9 Symposium), Wrocław, 17-22 czerwca 2015*
135. **P. Nowicki**, K. Goździk, R. Pietrzak  
Activated carbons prepared from peanut shells and their potential application in purification of drinking water  
*Ninth International Symposium Effects of Surface Heterogeneity in Adsorption and Catalysis on Solids (ISSHAC-9 Symposium), Wrocław, 17-22 czerwca 2015*
136. A. Bazan, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Removal of NO<sub>2</sub> by carbonaceous adsorbents obtained from residue after supercritical extraction of marigold  
*Ninth International Symposium Effects of Surface Heterogeneity in Adsorption and Catalysis on Solids (ISSHAC-9 Symposium), Wrocław, 17-22 czerwca 2015*
137. J. Kazmierczak-Razna, Ż. Budzicka, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Removal of NO<sub>2</sub> on the adsorbents obtained from wastepaper with the use of microwave radiation  
*Ninth International Symposium Effects of Surface Heterogeneity in Adsorption and Catalysis on Solids (ISSHAC-9 Symposium), Wrocław, 17-22 czerwca 2015*
138. **P. Nowicki**, J. Kazmierczak-Razna, J. Przepiórski, R. Pietrzak  
Production of activated carbons from biodegradable waste materials as an alternative way of their utilisation  
*Ninth International Symposium Effects of Surface Heterogeneity in Adsorption and Catalysis on Solids (ISSHAC-9 Symposium), Wrocław, 17-22 czerwca 2015*
139. **P. Nowicki**  
Effect of heat treatment on the physicochemical properties of nitrogen-enriched activated carbons  
*12<sup>th</sup> Conference on Calorimetry and Thermal Analysis, Zakopane, 6-10 września 2015*
140. **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Thermal study of modified activated carbons obtained by amoxidation of sub-bituminous coal  
*12<sup>th</sup> Conference on Calorimetry and Thermal Analysis, Zakopane, 6-10 września 2015*
141. A. Bazan, **P. Nowicki**, P. Pórolniczak R. Pietrzak  
Thermal analysis of activated carbon obtained from residue after supercritical extraction of hops  
*12<sup>th</sup> Conference on Calorimetry and Thermal Analysis, Zakopane, 6-10 września 2015*
142. J. Kazmierczak-Razna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Thermogravimetric studies of activated carbons obtained by chemical activation of biomass with the use of microwave radiation  
*12<sup>th</sup> Conference on Calorimetry and Thermal Analysis, Zakopane, 6-10 września 2015*
143. J. Kazmierczak-Razna, M. Masztalerz, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Wykorzystanie adsorbentów węglowych otrzymanych za pomocą promieniowania mikrofalowego do usuwania barwników organicznych  
*58 Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego, Gdańsk, 21-25 września 2015*
144. R. Pietrzak, A. Bazan, **P. Nowicki**  
Węgle aktywne otrzymane z pozostałości po ekstrakcji nadkrytycznej – zdolności sorpcyjne z fazy ciekłej  
*58 Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego, Gdańsk, 21-25 września 2015*



dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

145. **P. Nowicki**, J. Banaszak, J. Kaźmierczak-Rażna, R. Pietrzak  
Adsorpcja zanieczyszczeń na węglach aktywnych otrzymanych poprzez aktywację chemiczną niskiej jakości węgla brunatnego  
*58 Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego, Gdańsk, 21-25 września 2015*
146. **P. Nowicki**, K. Konieczna, J. Kaźmierczak-Rażna, R. Pietrzak  
Właściwości fizykochemiczne i sorpcyjne węgla aktywnych otrzymanych z poli(tereftalanu etylenu)  
*58 Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego, Gdańsk, 21-25 września 2015*
147. K. Wasiński, **P. Nowicki**, P. Półrolniczak, M. Walkowiak, R. Pietrzak  
Fruit peels based electrode materials for supercapacitors  
*6<sup>th</sup> International Conference on Carbon for Energy Storage/Conversion and Environment Protection CESEP' 2015 Poznań, 18-22 października 2015*
148. P. Półrolniczak, K. Wasiński, **P. Nowicki**, R. Pietrzak, M. Walkowiak  
Carbon from waste fruit peels as sulfur cathode component for high energy Li-S batteries  
*6<sup>th</sup> International Conference on Carbon for Energy Storage/Conversion and Environment Protection CESEP' 2015 Poznań, 18-22 października 2015*
149. J. Kaźmierczak-Rażna, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Comparison of physicochemical and sorption properties of activated carbons obtained by microwave and conventional heating of biomass  
*6<sup>th</sup> International Conference on Carbon for Energy Storage/Conversion and Environment Protection CESEP' 2015 Poznań, 18-22 października 2015*
150. J. Kaźmierczak-Rażna, M. Masztalerz, Ż. Budzicka, **P. Nowicki**, R. Pietrzak  
Preparation of activated carbons from industry waste materials using microwave radiation  
*6<sup>th</sup> International Conference on Carbon for Energy Storage/Conversion and Environment Protection CESEP' 2015 Poznań, 18-22 października 2015*
151. K. Jurewicz, **P. Nowicki**, S. Bielawny, J. Kaźmierczak-Rażna, R. Pietrzak  
Nitrogen-enriched activated carbons prepared from a polish lignite for high power asymmetrical supercapacitors  
*6<sup>th</sup> International Conference on Carbon for Energy Storage/Conversion and Environment Protection CESEP' 2015 Poznań, 18-22 października 2015*
152. **P. Nowicki**, A. Bazan, K. Goździk, R. Pietrzak  
Adsorpcja zanieczyszczeń gazowych na węglach aktywnych uzyskanych z łupin różnych gatunków orzechów  
*40. Międzynarodowe Seminarium Naukowo - Techniczne „Chemistry for Agriculture” Karpacz, 29 listopada - 2 grudnia 2015*
153. **P. Nowicki**, J. Kaźmierczak-Rażna, R. Pietrzak  
Adsorpcja barwników organicznych na węglach aktywnych otrzymanych z porolniczych i poprodukcyjnych materiałów odpadowych  
*40. Międzynarodowe Seminarium Naukowo - Techniczne „Chemistry for Agriculture” Karpacz, 29 listopada - 2 grudnia 2015*

#### 4.4 Analiza bibliograficzna

Łączna liczba publikacji – 98 (w tym 81 po doktoracie).

Liczba publikacji z JCR (Journal Citation Reports) – 38 (w tym 31 po doktoracie).

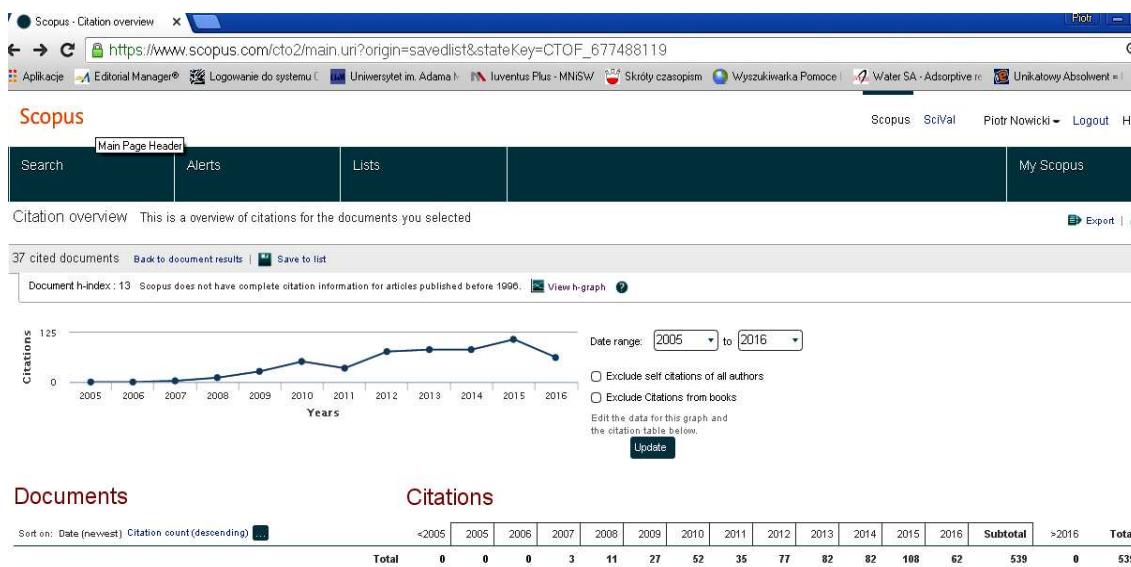
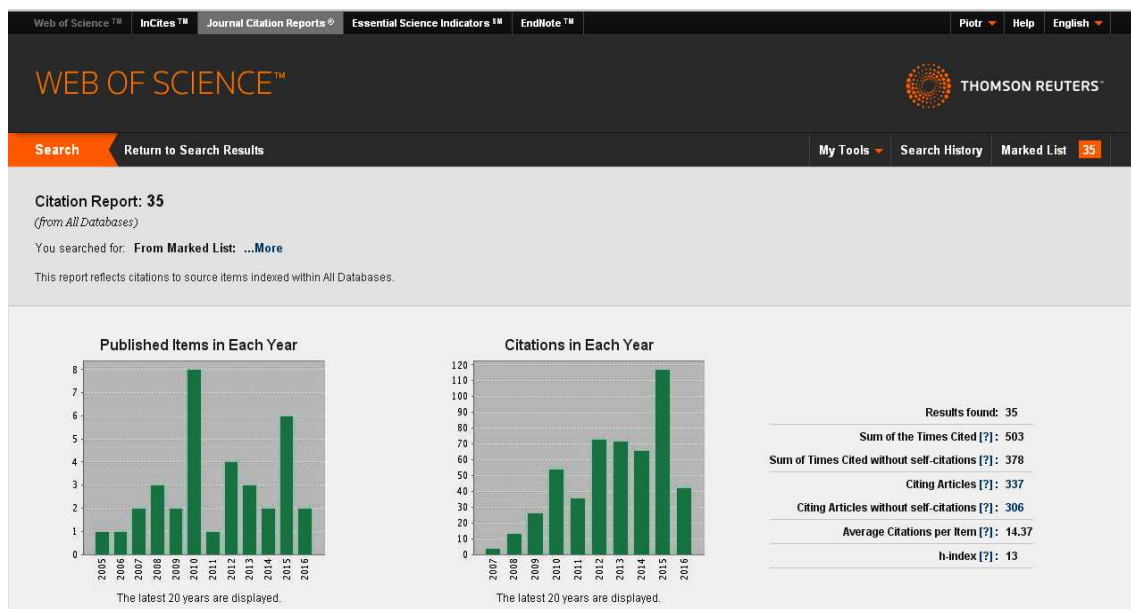
Sumaryczny Impact Factor = 104,168 (po doktoracie IF = 82,363).

Całkowita liczba cytowań wg. bazy Web of Science z dnia 25.04.2016 wynosi 503 (bez autocytowań – 377).

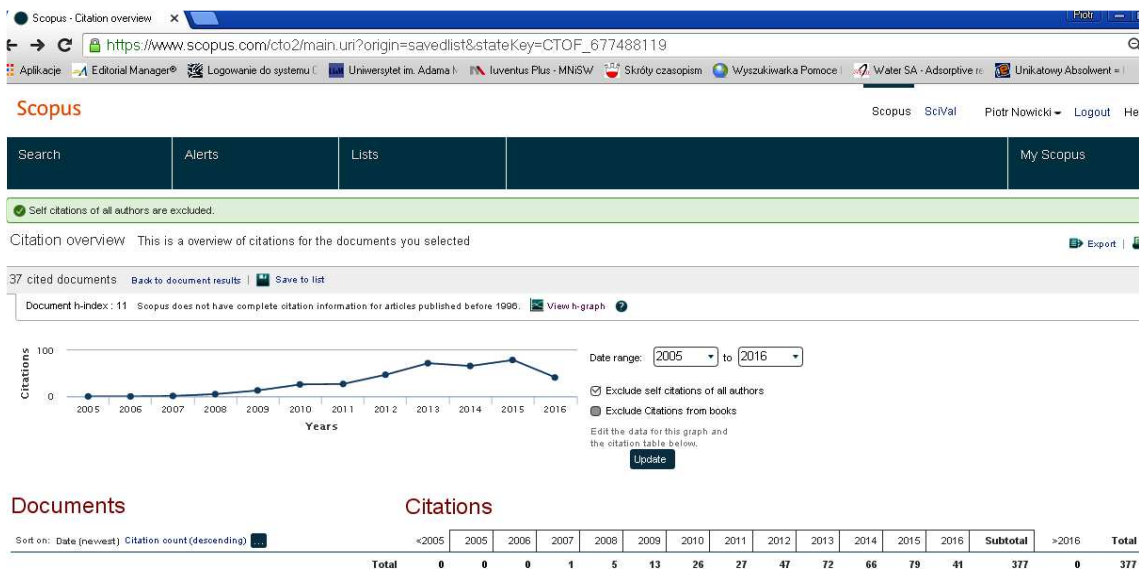
Indeks Hirscha wg. bazy Web of Science wynosi 13.

Łączna liczba cytowań wg. bazy Scopus z dnia 25.04.2016 wynosi 539 (bez autocytowań – 378).

Indeks Hirscha  $h = 13$  (bez autocytowań  $h = 11$ ).







### Prace z największą liczbą cytowań (bez autocytowań)

- K. Jurewicz, R. Pietrzak, **P. Nowicki**, H. Wachowska  
 Capacitance behaviour of brown coal based active carbon modified through chemical reaction with urea  
*Electrochimica Acta* – 2008, 53, 5469-5475. Liczba cytowań: 64
- R. Pietrzak, H. Wachowska, **P. Nowicki**  
 Preparation of nitrogen-enriched activated carbons from brown coal  
*Energy & Fuels* – 2006, 20, 1275-1280. Liczba cytowań: 43
- R. Pietrzak, K. Jurewicz, **P. Nowicki**, K. Babel, H. Wachowska  
 Microporous activated carbons from ammoxidised anthracite and their capacitance behaviours.  
*Fuel* – 2007; 86, 1086-1092. Liczba cytowań: 35
- P. Nowicki**, H. Wachowska, R. Pietrzak [**H-4**]  
 Active carbons prepared by chemical activation of plum stones and their application in removal of NO<sub>2</sub>  
*Journal of Hazardous Materials* – 2010, 181, 1088-1094 Liczba cytowań: 29
- P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
 X-ray photoelectron spectroscopy study of nitrogen-enriched active carbons obtained by ammoxidation and chemical activation of brown and bituminous coals  
*Energy & Fuels* – 2010, 24, 1197-1206 Liczba cytowań: 29
- R. Pietrzak, H. Wachowska, **P. Nowicki**, K. Babel  
 Preparation of modified active carbon from brown coal by ammoxidation  
*Fuel Processing Technology* – 2007, 88, 409-415. Liczba cytowań: 23
- P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
 Sorption properties of active carbons obtained from walnut shells by chemical and physical activation  
*Catalysis Today* – 2010, 150, 107-114 Liczba cytowań: 22

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

8. R. Pietrzak, K. Jurewicz, **P. Nowicki**, K. Babeł, H. Wachowska  
Nitrogen-enriched bituminous coal based active carbons as materials for supercapacitors  
*Fuel* – 2010, 89, 3457-3467 *Liczba cytowań: 21*
9. **P. Nowicki**, R. Pietrzak, H. Wachowska  
Siberian anthracite as a precursor material for microporous activated carbons  
*Fuel* – 2008, 87, 2037-2040. *Liczba cytowań: 19*
10. **P. Nowicki**, R. Pietrzak [**H-1**]  
Carbonaceous adsorbents prepared by physical activation of pine sawdust and their application for removal of NO<sub>2</sub> in dry and wet conditions  
*Bioresource Technology* – 2010, 101, 5802-5807 *Liczba cytowań: 11*

#### 4.5 Nagrody i wyróżnienia

- 2015, 2014, 2013** – Nagroda zespołowa JM Rektora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu za osiągnięcia w pracy naukowej.
- 2011, 2009, 2005** – Nagroda zespołowa JM Rektora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu za osiągnięcia w pracy naukowej.
- 2012** – Stypendium dla młodych doktorów („postdoc”) w ramach projektu pt: „UAM: Unikatowy Absolwent = Możliwości. Wzrost potencjału dydaktycznego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza poprzez proinnowacyjne kształcenie w języku angielskim, interdyscyplinarność, e-learning, inwestycje w kadry”.
- 2011-2013** – Stypendium naukowe dla wybitnego młodego naukowca przyznane przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego
- 2011** – Stypendium Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej dla młodych uczonych – Program START
- 2010** – Stypendium Miasta Poznania dla młodych badaczy z poznańskiego środowiska naukowego.
- 2009** – Wyróżnienie za najlepszą pracę doktorską wykonaną na Wydziale Chemii UAM w roku 2008.
- 2009** – Nagroda za wyróżnioną prezentację posterową sekcji „Węgiel” VI Kongresu Technologii Chemicznej.
- 2007** – Nagroda w konkursie „Najlepszy poster” na 50 Jubileuszowym Zjeździe PTChem i SITPChem oraz 11<sup>th</sup> Międzynarodowej Konferencji Chemii Środowiska, Toruń.

#### 4.6 Wykaz zrealizowanych projektów naukowych

1. **Kierownik** projektu badawczego nr IP2012 004072 „Odpady przemysłowe i rolnicze jako prekursorzy tanich i efektywnych adsorbentów węglowych” w ramach programu „Juventus Plus”(2013-2015), budżet 207 000 PLN.
2. **Główny wykonawca** projektu badawczego własnego MNiSW nr N N204 277537 „Wykorzystanie odpadów poprodukcyjnych oraz biodegradowalnych odpadów rolniczych jako prekursorów adsorbentów zanieczyszczeń z fazy ciekłej i gazowej” (2009-2012), budżet 383 000 PLN.

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

- 3. Główny wykonawca** projektu badawczego własnego MNiSW nr N N204 056235 „Otrzymywanie adsorbentów węglowych z węgla kopalnych oraz materiałów odpadowych oraz zastosowanie ich w procesach usuwania zanieczyszczeń gazowych” (2008-2011), budżet 298 500 PLN.
- 4. Wykonawca** projektu badawczego własnego MNiSW nr N N507 284036 „Modyfikowane węgle aktywne dla wysokiej mocy ekologicznego superkondensatora o budowie asymetrycznej” (2008-2011), budżet 287 000 PLN.
- 5. Wykonawca** grantu promotorskiego nr N204 043 32/0906 „Właściwości powierzchniowe i elektrochemiczne modyfikowanych azotem węgla aktywnych” (2007-2008), budżet 39 000 PLN.

#### **4.7 Wykaz recenzji wykonanych dla międzynarodowych czasopism naukowych**

Adsorption (IF = 1,771) – **3**

Adsorption Science and Technology (IF = 0,669) – **4**

Carbon (IF = 6,196) – **1**

Desalination and Water Treatment (IF = 1,173) – **1**

Industrial & Engineering Chemistry Research (IF = 2,587) – **1**

International Journal of Environmental Research (IF = 2,190) – **1**

Journal of Industrial and Engineering Chemistry (IF = 3,512) – **1**

Journal of Cleaner Production (IF = 3,844) – **1**

Journal of CO<sub>2</sub> Utilization (IF = 3,091) – **1**

Korean Journal of Chemical Engineering (IF = 1,166) – **3**

Materials Chemistry and Physics (IF = 2,259) – **1**

Polish Journal of Chemical Technology (IF = 0,534) – **2**

Przemysł Chemiczny (IF = 0,399) – **1**

**Razem: 21** recenzji

## **5. Działalność dydaktyczna i organizacyjna**

### **5.1 Opracowane materiały dydaktyczne**

Zorganizowanie i uruchomienie od podstaw pracowni z przedmiotu „*Technologia wytwarzania preparatów kosmetycznych*” oraz opracowanie skryptów do większości ćwiczeń.

Zorganizowanie 4 nowych ćwiczeń wraz z opracowaniem skryptów z przedmiotu fakultatywnego „*Węgiel i materiały węglowe*”.

### **5.2 Wykaz prowadzonych zajęć dydaktycznych na Wydziale Chemii UAM**

#### **Studia stacjonarne:**

- ćwiczenia laboratoryjne z Technologii chemicznej I i II,
- ćwiczenia terenowe z Technologii chemicznej I,

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

- ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu fakultatywnego Przemysłowy przerób węgla,
- ćwiczenia laboratoryjne ze Środków natłuszczających i tłuszczu stosowanych w kosmetyce,
- ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu fakultatywnego Środki powierzchniowo czynne – główne składniki kosmetyków,
- ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu fakultatywnego Otrzymywanie kremów, emulsji i preparatów do pielęgnacji ciała;
- ćwiczenia laboratoryjne z Preparatyki kosmetycznej,
- ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu fakultatywnego Preparaty do pielęgnacji skóry,
- ćwiczenia laboratoryjne z Technologii wytwarzania preparatów kosmetycznych (kierownik pracowni),
- ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu fakultatywnego Węgiel i materiały węglowe (kierownik pracowni).

#### **Studia niestacjonarne:**

- ćwiczenia laboratoryjne z przedmiotu fakultatywnego Węgiel i materiały węglowe (kierownik pracowni),
- ćwiczenia laboratoryjne z Technologii Chemicznej (kierownik pracowni).

#### **Studia podyplomowe:**

- ćwiczenia laboratoryjne z Przemysłowej technologii kosmeceutyków/kosmetyków (kierownik pracowni).

#### **5.3 Opieka naukowa nad studentami**

- opieka naukowo-dydaktyczna nad licencjatami – 4 prace,
- opieka naukowa nad prowadzonymi w Zakładzie Chemii i Technologii Węgla oraz Pracowni Chemii Stosowanej pracami magisterskimi – 20 prac,
- promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim mgr Justyny Weroniki Kaźmierczak-Raźnej; Tytuł rozprawy: „Właściwości fizykochemiczne i zdolności sorpcyjne adsorbentów węglowych otrzymanych z zastosowaniem promieniowania mikrofalowego (termin obrony – 28 kwietnia 2016),
- promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim mgr Aleksandry Bazan; Tytuł rozprawy: „Pozostałości po ekstrakcji nadkrytycznej surowców roślinnych jako prekursorzy adsorbentów węglowych” (planowany termin obrony – 2018),
- promotor prac licencjackich – 2 osoby – planowany termin obrony czerwiec 2016.

#### **5.4 Działalność organizacyjna**

- osoba wyznaczona do wykonywania działań w zakresie zwalczania pożarów i ewakuacji pracowników w ramach Pracowni Chemii Stosowanej (od roku 2015),
- V-ce Przewodniczący Sekcji Chemii i Technologii Węgla PTChem (od roku 2013),

dr Piotr Nowicki, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

- członek Komitetu Naukowego 3<sup>rd</sup> *Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry (CEEC-TAC3)*, Ljubljana (Słowenia), 25-28 sierpnia 2015,
- opracowanie „Aktualizacji oceny ryzyka zawodowego” dla pracowników Pracowni Chemii Stosowanej (2013),
- członek Komitetu Organizacyjnego *XV Jubileuszowego Ogólnopolskiego Symposium n.t. Zastosowanie metod spektroskopowych w badaniu materiałów i związków chemicznych*, odbywającego się w dniach 25-27 maja 2011, w Poznaniu,
- członek Wydziałowej Komisji ds. Nauki i Spraw Osobowych – Wydział Chemii UAM (lata 2008-2011),
- opiekun studentów pierwszego stopnia na kierunku chemia, rocznik 2008/2009 – specjalność – chemia materiałowa,
- członek Polskiego Towarzystwa Węglowego (od roku 2009),
- członek Polskiego Towarzystwa Chemicznego (od roku 2005).

09.05.2016r. Poznań

.....  
Data i miejscowość

Nowicki Piotr

.....  
Podpis