POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ TECHNOLOGII CHEMICZNEJ
INSTYTUT TECHNOLOGII I INŻYNIERII CHEMICZNEJ
dr hab. inż. Katarzyna Siwińska-Ciesielczyk, prof. PP
ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań,
tel. +48 61 665 36 26
e-mail: katarzyna.siwinska-ciesielczyk@put.poznan.pl

Poznań, 23.06.2023 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Agnieszki Emilii Sienkiewicz
zatytułowanej
„Preparatyka i charakterystyka fotokatalizatorów na bazie tlenku tytanu(IV) modyfikowanego aminosilanami do usuwania zanieczyszczeń organicznych z wody"
opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
(pismo WTiICh/A/77/2023 z dnia 20.04.2023 r.)

Podstawą formalną sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo Pana Prof. dra hab. inż. Rafała Rakoczy, Dziekana Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Agnieszki Emilii Sienkiewicz została zrealizowana w Katedrze Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska, Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, pod kierunkiem dr hab. inż. Eweliny Kusiak-Nejman, prof. ZUT oraz dr inż. Agnieszki Wanag, która sprawowała rolę promotora pomocniczego. Przewód doktorski prowadzony jest w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria chemiczna.

W ocenie merytorycznej przedłożonej do recenzji rozprawy pod uwagę wzięto następujące kryteria: oryginalność i nowatorski charakter zrealizowanych badań, zasadność podjęcia problemu badawczego, metodykę badań, dobór wykorzystanych metod oraz technik badawczych, jak również trafność interpretacji uzyskanych wyników oraz ich dyskusję w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy. Ponadto oprócz skuteczność realizacji założonego problemu badawczego w ocenie merytorycznej uwzględniono również osiągnięcia naukowe Pani mgr inż. Agnieszki Emilii Sienkiewicz.

Wraz z rozwojem przemysłu, jakość życia człowieka znacząco się poprawia, ale obserwuje się zwiększoną emisją odpadów i zanieczyszczeń, które są szkodliwe dla środowiska, jak i zdrowia ludzi. Biorąc pod uwagę obieg wody w przyrodzie, czyli ruch między atmosferą, hydrosferą i litosferą, można powiedzieć, że kwestia zanieczyszczeń w tym obszarze, jest sprawą niezwykle niepokojącą. Dążenie do utrzymania dobrego stanu środowiska stanowi jedno z ważniejszych wyzwań ostatnich lat. Należy zaznaczyć, że oczyszczanie ścieków, ze względu na zróżnicowany skład ilościowy i jakościowy, jest złożonym zagadnieniem będącym wciąż przedmiotem licznych badań. Ponadto, wśród szerokiej gamy zanieczyszczeń obecnych w systemach wodnych do szczególnie problematycznych zalicza się ścieki barwne pochodzące z przemysłu

włókienniczego, papierniczego czy garbarskiego. Barwniki są związkami chemicznymi o złożonej budowie, co znacznie utrudnia ich usuwanie ze ścieków. Ze względu na znaczącą ilość tych zanieczyszczeń zasadnym wydaje się poszukiwanie oraz opracowywania nieszkodliwych, a zarazem przyjaznych dla środowiska metod ich usuwania bądź neutralizacji. Ważnym aspektem w wyborze metody powinna być jej wysoka skuteczność, opłacalność oraz fakt, że wybrane rozwiązanie powinno spełniać założenia zielonej chemii. Wśród potencjalnych rozwiązań służących eliminacji różnych zanieczyszczeń w ostatnich latach dużym zainteresowaniem cieszy się fotokataliza heterogeniczna. Metoda ta zaliczana jest do tzw. procesów zaawansowanego utleniania (z ang. *Advanced Oxidation Processes* – AOP), które wykorzystują wysoki potencjał utleniający (2,7 V) powstających w środowisku reakcji rodników hydroksylowych. Ponadto, technika ta umożliwia efektywną degradację nawet bardzo „opornych" zanieczyszczeń, a co istotne powinna prowadzić do całkowitej mineralizacji zanieczyszczeń obecnych w ściekach do prostych związków nieorganicznych – wody i tlenku węgla(IV). Wiadomym jest, że w procesie fotokatalizy kluczową rolę odgrywa fotokatalizator, który powinien być wysoce aktywne w zakresie światła widzialnego i bliskiego ultrafioletu, fotostabilny, odporny na czynniki środowiskowe, tani i obojętny biologicznie. Z tego względu, w ostatnich latach obserwowany jest trend, w którym naukowcy coraz częściej koncentrują się na opracowaniu metod otrzymywania oraz modyfikacji tlenku tytanu(IV), który jest najczęściej wykorzystywanym fotokatalizatorem. Celem jest uzyskanie materiału o unikalnych właściwościach fizykochemicznych oraz aplikacyjnych. Dostępne dane literaturowe wskazują, że wybór odpowiedniej metody otrzymywania czy modyfikacji tlenku tytanu(IV) w istotny sposób determinują jego parametry fizykochemiczne, takie jak: wielkość i kształt formowanych cząstek, stopień krystaliczności, skład fazowy, wartość powierzchni właściwej, a także stabilność chemiczną i termiczną, które w istotny sposób wpływają na wykazywane przez ten materiał właściwości użytkowe. Okazuje się, że istotnym aspektem w syntezie aktywnych fotokatalizatorów zbudowanych z TiO_2 wydaje się umiejętna i przemyślana kontrola parametrów procesowych w ujęciu wykorzystanej metody syntezy, które mają przełożenie na właściwości fizykochemiczne i użytkowe wytwarzanego materiału fotoaktywnego.

Zagadnienia badawcze przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agnieszki Emilii Sienkiewicz wpisują się we wspomniany nurt badawczy i koncentrują się na formowaniu materiałów fotoaktywnych zawierających tlenku tytanu(IV), modyfikowanych dodatkowo krzemem, węglem oraz azotem, celem zwiększenia ich aktywności i stabilności fotokatalitycznej w procesie eliminacji wybranych barwników organicznych. Podjęta tematyka badawcza jest aktualna, i co istotne interdyscyplinarna, gdyż porusza zagadnienia na pograniczu inżynierii materiałowej, technologii chemicznej i ochrony środowiska. Problem badawczy, którego podjęła się Autorka recenzowanej rozprawie doktorskiej wpisuje się w aktualne trendy badań naukowych, realizowanych w renomowanych ośrodkach na świecie i jest niezwykle istotny m.in. z uwagi na możliwość syntezy nowej grupy fotokatalizatorów wykorzystywanych w eliminacji szkodliwych dla środowiska barwnych zanieczyszczeń organicznych.

Prace eksperymentalne podjęte w ramach recenzowanej rozprawy dotyczą projektowania, oceny fizykochemicznej oraz możliwości aplikacyjnych materiałów fotoaktywnych zawierających tlenek tytanu(IV), które otrzymywano zgodnie z założeniami metody solwotermalnej, w obecności wybranego silanowego związku wiążącego, stosowanego w charakterze modyfikatora i źródła domieszki krzemu, węgla i azotu. Zastosowanie silanowego związku wiążącego na etapie formowania zmodyfikowanych form TiO_2

metodą solwotermalną miało na celu wyjaśnienie jego roli na wykazywane przez fotokatalizator właściwości fizykochemiczne, w tym strukturę krystaliczną, skład fazowy czy wartość powierzchni właściwej, które to mogą przyczynić się do zwiększenia ich aktywności i stabilności fotokatalitycznej.

Przedłożona do recenzji rozprawa ma formę spójnego tematycznie zbioru **5** artykułów, które zostały opublikowane w czasopismach naukowych indeksowanych przez *Thomson Reuters Journal Citation Reports*, takich jak *Journal of Environmental Chemical Engineering* (**P1** i **P3**), *Catalysts* (**P2**), *Molecules* (**P4**) oraz *Desalination and Water Treatment* (**P5**). Sumaryczny *Impact Factor* opublikowanych prac wynosi **24,578**; a ilość punktów MEiN osiąga wartość **540** zgodnie z obowiązującym wykazem czasopism.

Publikacje wchodzące w skład monotematycznego cyklu prac są wieloautorskie (od 5 do 6 autorów). W trzech publikacjach Doktorantka jest pierwszym autorem, niestety w żadnej z prac nie jest jednak wymieniona jako autor korespondencyjny. Pomimo tego, załączone oświadczenia współautorów, jak i samej Doktorantki potwierdzają, istotny wkład Autorki w ich przygotowanie i opracowanie. Należy w tym miejscu nadmienić, że każda z publikacji wchodząca w skład monotematycznego cyklu prac przeszła już zarówno formalną, jak i merytoryczną ocenę przez niezależnych, międzynarodowych ekspertów powołanych przez edytorów tychże czasopism.

Układ rozprawy doktorskiej jest klasyczny w odniesieniu do prezentacji monotematycznego cyklu publikacji. Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agnieszki Emilii Sienkiewicz rozpoczyna się od streszczenia napisanego w języku polskim i angielskim. Kolejno Autorka pracy zamieściła wykaz prac naukowych wchodzących w skład monotematycznego cyklu publikacji oraz wykaz dodatkowych osiągnięć związanych z realizacją rozprawy doktorskiej, na które składają się pozostałe publikacje naukowe, udzielony patent, wystąpienia (ustne i posterowe) na konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym. W dalszej części rozprawy Doktorantka przedstawiła wykaz stosowanych skrótów/akronimów, wstęp, hipotezę i cel badań, materiały i metody badawcze, omówienie wyników badań, wnioski oraz literaturę, która obejmuje 77 pozycje bibliograficzne. Materiał zobrazowano na 36 stronach maszynopisu, z wyłączeniem załączonych oryginałów opublikowanych prac.

We wstępie teoretycznym rozprawy mgr inż. Agnieszka Emilia Sienkiewicz skoncentrowała uwagę na problemie skażenia środowiska wodnego przez barwne zanieczyszczenia organiczne, które w istotny sposób przyczyniają się do trudności z dostępem do wody pitnej oraz problemów zdrowotnych. Kolejno wskazała na wykorzystanie różnych metod w eliminacji i usuwaniu tego typu zanieczyszczeń z wody czy ścieków, wskazując rosnący potencjał zastosowania fotokatalizy heterogenicznej w tym aspekcie. W dalszej części wstępu, Autorka przybliżyła właściwości fizykochemiczne tlenku tytanu(IV), takie jak: struktura krystaliczna, skład fazowy, wielkość krystalitów, powierzchnia właściwa czy ilość grup hydroksylowych, które w istotny sposób mogą determinować wykazywaną przez ten materiał aktywność fotokatalityczną. Wskazała również wady tego materiału, które w zdecydowany sposób przyczyniają się do obniżenia jego fotoaktywności, takie chociażby jak szybka rekombinacja fotogenerowanych par elektron-dziura elektronowa czy wysoka wartość energii pasma wzbronionego. Autorka zaznaczyła również, że w ostatnich latach obserwuje się wzrost liczby prac naukowych dotyczących opracowania odpowiedniej strategii modyfikacji TiO_2, która pozwoli na osiągnięcie jak najwyższej aktywności i stabilności fotokatalitycznej, przy możliwie jak najniższych kosztach wytwarzania tego typu materiału. Doktorantka wskazuje, że jednym z potencjalnych

rozwiązań, które pozwoli na realizację tego celu, jest zastosowanie silanowego związku wiążącego w charakterze domieszki Si, C i N, wykorzystywanego w procesie modyfikacji/współdomieszkowania TiO_2. Autorka sygnalizuje, że zastosowanie silanowego związku wiążącego w charakterze modyfikatora/domieszki na etapie syntezy TiO_2 może przyczynić się do opóźnienia transformacji fazowej anatazu w rutyl czy zahamowania wzrostu wielkości krystalitów obu faz podczas procesu kalcynacji. Wspomniany fragment rozprawy doktorskiej stanowi istotne uzasadnienie podjętej tematyki badawczej.

W mojej opinii, zdefiniowany przez mgr inż. Agnieszkę Emilię Sienkiewicz cel, jak również podstawowe etapy pracy badawczej, koncentrujące się na opracowaniu innowacyjnej metodyki preparatyki wysoce aktywnych i stabilnych fotokatalizatorów tlenku tytanu(IV), wykorzystującej komercyjnie dostępny półprodukt stosowany w produkcji bieli tytanowej oraz silanowy związek wiążący w charakterze domieszki Si, C i N, zostały poprawnie zdefiniowane. Doktorantka podjęła również próbę wyjaśnienia jak zastosowanie silanowego związku wiążącego na etapie formowania tlenku tytanu(IV) metodą solwotermalną wpływa na wykazywane przez materiał właściwości fizykochemiczne, a kolejno na aktywność oraz stabilność fotokatalityczną.

Nadrzędnym celem recenzowanej rozprawy doktorskiej była synteza materiałów fotoaktywnych TiO_2 domieszkowanych azotem, węglem i krzemem. Chcąc osiągnąć założone cele Autorka wyznaczyła następujące zadania badawcze:

- ✓ opracowanie innowacyjnej metodyki syntezy materiałów fotoaktywnych zawierających tlenku tytanu(IV) modyfikowanych/domieszkowanych aminosilanem, wykorzystując założenia metody solwotermalnej, która może być dodatkowo wspomagana procesem kalcynacji;
- ✓ określenie wpływu stężenia modyfikatora/domieszki – 3-aminopropylotrietoksysilanu – wprowadzanego/wprowadzanej na etapie syntezy na właściwości fizykochemiczne i fotokatalityczne tlenku tytanu(IV);
- ✓ określenie wpływu temperatury kalcynacji na właściwości fizykochemiczne i fotokatalityczne nowej grupy materiałów fotoaktywnych;
- ✓ określenie korelacji pomiędzy właściwościami fizykochemicznymi a aktywnością fotokatalityczną otrzymanych materiałów.

W moim odczuciu, podjęty przez Doktorantkę problem badawczy jest bardzo istotny nie tylko z naukowego, ale także z praktycznego punktu widzenia. Próba znalezienia odpowiedzi na pytanie, czy zastosowanie silanowego związku wiążącego w charakterze modyfikatora/domieszki na etapie syntezy materiałów fotoaktwnych TiO_2 metodą solwotermalną przyczyni się do uzyskania materiałów o lepszej aktywności fotokatalitycznej jest uzasadniony. Dodatkowo, uzyskane rezultaty badań niewątpliwie przyczynią się do uzupełnienie istniejącego stanu wiedzy o innowacyjnych materiałach fotoaktywnych dedykowanych do zastosowań środowiskowych, jak również w aspekcie związanym z wyborem optymalnych modyfikatorów decydujących o ich wielokierunkowym wykorzystaniu.

W mojej ocenie przedstawione wyniki pracy badawczej są interesujące, interpretacja uzyskanych zależności jest logiczna, a założony cel pracy został osiągnięty. Przedstawiony materiał doświadczalny oraz jego analiza wnosi znaczący element nowości naukowej w obecny stan wiedzy, a przeprowadzone badania odznaczają się oryginalnością i mają duży potencjał w aspekcie ich zastosowania w praktyce.

W moim przekonaniu do najistotniejszych osiągnięć badawczych Doktorantki zaliczyć należy:

- ✓ opracowanie metodyki formowania materiałów fotoaktywnych zawierających tlenku tytanu(IV) o zdefiniowanych właściwościach fizykochemicznych oraz aktywności fotokatalitycznej metodą solwotermalną wykorzystując komercyjnie dostępny półprodukt stosowany w produkcji bieli tytanowej oraz silanowy związek wiążący jako modyfikator/domieszka;
- ✓ wykazanie istotnego wpływu dodatku silanowego związku wiążącego na przesunięcie temperatury transformacji fazowej anatazu do rutylu oraz spowolnienie wzrostu wielkości krystalitów podczas procesu kalcynacji (w szczególności w porównaniu do materiałów referencyjnych);
- ✓ wykazanie wpływu procesu kalcynacji na zmianę charakteru powierzchni oraz na poprawę stabilności fotokatalitycznej syntezowanych fotokatalizatorów;
- ✓ wykazanie optymalnej dawki fotokatalizatora wykorzystywanego w trakcie degradacji wybranego barwnego zanieczyszczenia organicznego;
- ✓ zdefiniowanie optymalnego stężenia silanowego związku wiążącego prowadzącego do uzyskania fotokatalizatorów o wysokiej aktywności fotokatalitycznej.

Doktorantka w swoich badaniach skoncentrowała uwagę na nowatorskim wykorzystaniu silanowego związku wiążącego (3-aminopropylotrietoksysilanu) jako modyfikatora tlenku tytanu(IV), celem uzyskania materiału fotoaktywnego o zwiększonej aktywności i stabilności, wykorzystując założenia metody solwotermalnej. W tym celu Autorka dokonała oceny wpływu: stężenia silanowego związku wiążącego, temperatury obróbki solwotermalnej, czy temperatury kalcynacji w gazie inertnym, na właściwości fizykochemiczne oraz aktywność fotokatalityczną wytworzonych fotokatalizatorów. W toku przeprowadzonych badań Doktorantka wykazała, że stężenie wprowadzonego silanowego związku wiążącego nie ma istotnego wpływu na formowaną strukturę krystaliczną oraz wielkość krystalitów. Dodatkowo zaobserwowano, że niezależnie od zaproponowanych warunki obróbki solwotermalnej (120-180 °C, 4 h) materiałów fotoaktywnych TiO_2 wytwarzanych w obecności silanowego związku wiążącego dochodzi do formowania układów o mieszanej strukturze krystalicznej (anatazu i rutylu) – z dominującym udziałem fazy anatazu. W toku zrealizowanych badań Doktorantka wykazała również, że zaproponowana metoda solwotermalna z wykorzystaniem 3-aminopropylotrietoksysilanu jako modyfikatora, dodatkowo wspomagana procesem kalcynacji w atmosferze Ar, prowadzi do podwyższenia temperatury transformacji fazowej anatazu do rutylu. Dodatkowo wykazano, że wzrost temperatury kalcynacji przyczynił się wzrostu krystalitów obu faz krystalicznych. Natomiast interpretacja rezultatów niskotemperaturowej sorpcji azotu dowiodła, że wraz ze wzrostem stężenia modyfikatora użytego podczas syntezy solwotermalnej, jak również temperatury kalcynacji fotokatalizatorów TiO_2, znaczącej redukcji ulega powierzchnia właściwa oraz objętość porów. Ponadto, dowiedziono że stężenie modyfikatora użytego na etapie preparatyki materiałów fotoaktywnych ma istotny wpływ na wykazywaną fotoaktywność w procesie degradacji wybranych barwników organicznych. Autorka rozprawy wykazała również, że wraz ze wzrostem temperatury kalcynacji zmodyfikowanych form tlenku tytanu(IV) zmienia się wartość potencjału dzeta z dodatniego na ujemny. W toku zrealizowanych badań wykazano, że istotny wpływ na właściwości adsorpcyjne ma charakter oddziaływań/interakcji między materiałem fotoaktywnym, a usuwanym zanieczyszczeniem. Natomiast przeprowadzone badania mające na celu fotokatalityczną degradację błękitu metylenowego wykazały, że w większości przypadków materiały syntezowane metodą solwotermalną wspomaganą dodatkowo kalcynacją wykazują wyższą aktywność fotokatalityczną niż analogiczne próbki poddane wyłącznie obróbce

termicznej w gazie inertnym (formowane bez dodatku silanowego związku wiążącego i nie poddane obróbce solwotermalnej). Ponadto, Doktorantka wykazała, że skuteczność usuwania wybranych barwników organicznych wzrastała wraz ze wzrostem stężenia fotokatalizatora, a za optymalna dawkę uznano 0,5 g/dm^3.

Oceniając całkowity dorobek Doktorantki należy wspomnieć, że jest Ona współautorką łącznie **11** publikacji z listy JCR. Sumaryczny *Impact Factor* opublikowanych prac wynosi **45,076**; a ilość punktów MEiN osiąga wartość **1090** zgodnie z obowiązującym wykazem czasopism. Spośród wspomnianych prac, pięć z nich związanych jest bezpośrednio z tematyką rozprawy. Doktorantka jest także współtwórcą 1 patentu krajowego. Aktywność naukowa mgr inż. Agnieszki Emilii Sienkiewicz to także udział w licznych konferencjach o zasięgu krajowym, jak i międzynarodowym, na których prezentowała swoje osiągnięcia w formie wystąpień ustnych lub posterowych (7 referatów w języku angielskim oraz 1 poster). Wartym odnotowania jest również fakt udziału Doktorantki w realizacji projektu badawczego **OPUS 14** nt. *„Hybrydowe nanomateriały ditlenek tytanu-krzem otrzymywane przez kalcynację w atmosferze gazów inertnych do zastosowań w oczyszczaniu wody i powietrza”* finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, w ramach którego powstała oceniana rozprawa doktorska. Dodatkowo mgr inż. Agnieszka Emilia Sienkiewicz jest lauratką konkursu PROM-ZUT Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej. Łącznie, wg bazy Scopus, prace Pani mgr inż. Agnieszki Emilii Sienkiewicz cytowano 115 razy, a współczynnik Hirscha (H-index) wynosi 5. Są to dobre wskaźniki bibliometryczne młodego naukowca.

Z obowiązku recenzenta pozwolę sobie wskazać kilka kwestii dyskusyjnych czy problematycznych. Zadanie to z pewnością zostało mi ułatwione, gdyż zawarte w rozprawie prace zostały poddane rzeczowej i wnikliwej ocenie przez niezależnych ekspertów.

W rozprawie doktorskiej pojawiają się nieliczne błędy edytorskie czy stylistyczne. Kwestie do dyskusji:

- ✓ W zaprezentowanym monotematycznym cyklu publikacji Autorka pracy skoncentrowała uwagę na pozyskaniu materiałów fotoaktywnych TiO_2 wykorzystując założenia metody solwotermalnej. Jakie było kryterium doboru parametrów procesowych (rodzaj i stężenie modyfikatora, temperatura i czas obróbki) metody syntezy opisanych w rozprawie fotokatalizatorów? Ponadto, czy kontrolowano ciśnienie panujące podczas obróbki solwotermalnej?
- ✓ Jaka była powtarzalność syntezy materiałów fotoaktywnych?
- ✓ Jak Autorka wyjaśni aspekt ekonomiczny wykorzystania kalcynacji w preparatyce materiałów fotoaktywnych?
- ✓ W pracach wchodzących w skład cyklu publikacji brakuje mi informacji w jakich warunkach były realizowane badania adsorpcyjne oraz fotokatalityczne?
- ✓ Czy Autorka mogłaby zaproponować potencjalny mechanizm modyfikacji tlenku tytanu(IV) aminosilanem? Dodatkowo, jaka była trwałość takiej modyfikacji? Czy podjęto próbę oceny jaki były stopień pokrycia powierzchni TiO_2 aminosilanem?
- ✓ Czy Doktorantka podjęła próbę analizy produktów fotodegradacji wybranych barwników organicznych? Byłoby to niezwykle istotne w przypadku zdefiniowania mechanizmu degradacji?
- ✓ W jakim pH ustalano wartość potencjału dzeta? Ponadto, na str. 23 maszynopisu zaproponowana metoda pomiaru potencjału dzeta została błędnie zdefiniowana. W pomiarze potencjału dzeta

wykorzystywana jest metoda elektroforetycznego rozpraszania światła (ang. *electrophoretic light scattering*, ELS).

- ✓ Czy Autorka mogłaby skorelować osiągnięte rezultaty badań fotokatalitycznych z wynikami już opublikowanymi dla podobnych materiałów fotoaktywnych?

Przedstawione powyżej uwagi i komentarze mają charakter ogólny i nie umniejszają jej wartości naukowej oraz poznawczej. W mojej ocenie Doktorantka wniosła znaczący wkład w rozwój nauk inżynieryjno-technicznych, szczególnie w tematyce preparatyki, charakterystyki i praktycznego zastosowania materiałów fotoaktywnych TiO_2.

Oceniając przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską na podkreślenie zasługuje fakt, że mgr inż. Agnieszka Emilia Sienkiewicz przeprowadziła oryginalne badania, które poprawnie zaplanowała oraz zrealizowała, a interpretacja uzyskanych wyników, forma ich przedstawienia oraz wnikliwa i rzeczowa analiza, świadczą o wysokich kompetencjach naukowo-badawczych Autorki rozprawy i są niewątpliwie dowodem świadczącym o Jej przygotowaniu do prowadzenia badań naukowych.

Na podstawie oceny dysertacji doktorskiej przedstawionej w formie cyklu monotematycznych, oryginalnych prac nt. „*Preparatyka i charakterystyka fotokatalizatorów na bazie tlenku tytanu(IV) modyfikowanego aminosilanami do usuwania zanieczyszczeń organicznych z wody*”, autorstwa Pani mgr inż. Agnieszki Emilii Sienkiewicz oraz zawartej w dysertacji aktywności naukowej jednoznacznie stwierdzam, że rozprawa spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim **Wnioskuję do Komisji Doktorskiej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie o przyjęcie rozprawy i przeprowadzenie dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Katarzyna Siwińska-Ciesielczyk

dr hab. inż. Katarzyna Siwińska-Ciesielczyk, prof.PP