

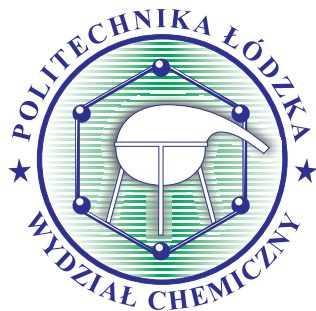
Eliksir

ISSN 2449-5476

czasopismo naukowo-dydaktyczne Wydziału Chemicznego PŁ



2(6)/2017



Drodzy Czytelnicy,

oddajemy w Wasze ręce kolejny numer naszego czasopisma. W obecnym wydaniu, poza szeregiem publikacji naukowych, Autorzy będą starali się przekonać Was, że studia chemiczne na naszym Wydziale nie tylko pozwalają zdobyć szeroką wiedzę i realizować swoje pasje, ale mogą być początkiem sukcesów zawodowych. Dowodem są liczne nagrody naszych Studentów i Absolwentów, zdobywane w corocznych konkursach organizowanych przez Zarząd Główny Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego. Z kolei o tym, jakie możliwości daje mariaż nauki z działalnością organizacyjną, opowiada doktorantka mgr inż. Hanna Makowska.

„Eliksir” zyskuje popularność, wzbudza coraz większe zainteresowanie i został doceniony przez jedno z czołowych polskich wydawnictw. Niniejszym z przyjemnością informujemy, że od tego roku rozpoczynamy współpracę z Wydawnictwem Naukowym PWN, w ramach której w kolejnych numerach czasopisma będziemy przedstawiać nowości wydawnicze z chemii i dziedzin pokrewnych. Mamy nadzieję, że ułatwi to Czytelnikom śledzenie na bieżąco literatury naukowej i zachęci Ich do częstszego korzystania z papierowych wersji podręczników.

Komitet Redakcyjny

Eliksir

czasopismo naukowo-dydaktyczne
Wydziału Chemicznego Politechniki Łódzkiej

Komitet Naukowy

prof. dr hab. inż. Marek Główka

prof. dr hab. inż. Tomasz Janecki

dr hab. inż. Piotr Ulański, prof. PŁ

dr hab. inż. Krzysztof Strzelec, prof. PŁ

dr hab. Piotr Polanowski

Komitet Redakcyjny

Redaktor naczelny

dr hab. inż. Agnieszka Czyłkowska

Zespół redakcyjny

dr inż. Dorota Adamczyk-Szabela

dr inż. Anna Turek

Wydawca: Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Projekt okładki: Komitet Redakcyjny „Eliksir”, fot. J. Szabela, P. Szajerski

Redakcja zastrzega sobie prawo do wprowadzania zmian, skracania i adiustacji tekstów

Łamanie i druk: Drukarnia WIST Sp. z o.o., 95-100 Zgierz, ul. Barona 8 B, tel. 42 716 45 63, 42 715 14 37,

e-mail: drukarnia@wist.lodz.pl

Nr 2(6)/2017

Wszystkie artykuły zostały zrecenzowane przez promotorów/opiekunów prac



Spis treści:

HISTORIA WYDZIAŁU CHEMICZNEGO 5

– Profesor mgr inż. Antoni Justat (1898-1973) 5

ARTYKUŁY 8

Kontrola stanu środowiska glebowego w sąsiedztwie infrastruktury komunikacyjnej 8

Synteza i modyfikacja nanocząstek TiO_2 15

Badania wpływu temperatury na skład produktów utleniania kwasu trichlorooctowego z udziałem katalizatora rodowego 22

Blaski i cienie polskiej energetyki (nie)konwencjonalnej. Część II 26

AKTUALNOŚCI 30

Sukcesy prac dyplomowych absolwentów Wydziału Chemicznego PŁ w konkursach SITPChem 30

Energia Nauki 33

Młodzi też potrafią – siła leży w wytrwałości i zaangażowaniu 35

Komercjalizacja szansą 39



Profesor mgr inż. Antoni Justat (1898-1973)¹

Antoni Justat urodził się 13.06.1898 r. w Warszawie w rodzinie robotniczej. Rodzicami Profesora byli Ignacy – niewykwalifikowany pracownik fizyczny i Franciszka z domu Grzelak. A. Justat uczęszczał w Warszawie do 7. gimnazjum. W maju 1915 r. po ukończeniu VI klasy gimnazjalnej wyjechał na Podole w charakterze korepetytora na okres wakacji letnich. Zającie Warszawy przez Niemców w sierpniu 1915 r. sprawiło, że pozostał w Rosji do końca wojny. Tam więc w Odessie ukończył VII i VIII klasę otrzymując w maju 1917 r. świadectwo dojrzałości, po czym podlegając obowiązkowi służby wojskowej wstąpił do oficerskiej Szkoły Artylerii w Odessie. Nie uzyskawszy nominacji oficerskiej z powodu wojny domowej w Rosji, w grudniu 1917 r. wstąpił do tworzącego się w Besarabii II Korpusu Wojsk Polskich, w którym służył do 11.05.1918 r., to jest do bitwy pod Koniewem z Niemcami. Po bitwie dostał się do niewoli, skąd zbiegł 15.05.1918 r. do Odessy. We wrześniu tegoż roku powrócił do Warszawy i zapisał się na Politechnikę. W dwa miesiące później po zakończeniu wojny światowej, przerwał studia i wstąpił do wojska. Po uzyskaniu stopnia oficerskiego został przydzielony do artyleryjskiej formacji na poligonie w Rembertowie, pełniąc funkcję kierownika stacji meteorologicznej. Jesienią 1921 r. w stopniu porucznika przeszedł do rezerwy i podjął przerwane studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej. W czasie studiów pracował zarobkowo pełniąc funkcję urzędnika, technika i buchaltera w różnych instytucjach. W roku 1927 zawarł związek małżeński z Marią Dembicką, z którą miał syna Janusza, urodzonego w 1929 r. Studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej ukończył w 1927 r. W ostatnim roku studiów (1926-1927) pełnił obowiązki asystenta w Katedrze Chemii Fizycznej Politechniki Warszawskiej u prof. Wojciecha Świętosławskiego.



*Antoni Justat (1898-1973) Kierownik Katedry
Technologii Chemicznej Nieorganicznej (1952-1968)*

W lipcu 1927 r. przeszedł do pracy w przemyśle w Państwowej Fabryce Związków Azotowych (PFZA) w Chorzowie, w której pracował do 2.09.1939 r. Na 12-letni okres pracy w PFZA składały się 2 lata studiów i badań w skali laboratoryjnej i półtechnicznej oraz 10 lat na stanowisku inżyniera do spraw postępu technicznego. W okresie pierwszym opracował w skali laboratoryjnej, a następnie półtechnicznej metodę produkcji sody amoniakalnej i salmiaku. Wyniki tych badań stały się podstawą do budowy w roku 1931 instalacji i uruchomienia w PFZA produkcji sody amoniakalnej zwanej „chorzowską” na skalę przemysłową. Następny 10-letni okres obejmuje studia i prace badawcze, udoskonalenia ruchowe i techniczne w kilku działach PFZA. A. Justat dokonał wielu udoskonaleń w produkcji amoniaku syntetycznego metodą Nitrogen Engineering Corporation (NEC), obejmującej wytwarzanie gazu wodnego z koksu i pary

¹ Pierwotny artykuł ukazał się jako: Gorzka Z., 2007, Profesor mgr inż. Antoni Justat (1898-1973), Zeszyty Historyczne Politechniki Łódzkiej, 5, 25-28.



wodnej, konwersję tlenku węgla z parą wodną, oczyszczanie chemiczne mieszaniny azotowo-wodorowej oraz syntezę amoniaku. Wynikiem Jego prac badawczych było skuteczniejsze wymywanie tlenku węgla oraz związane z tym oszczędności i stabilność procesu. Systematyczne studia eksperymentalne wymywania dwutlenku węgla wodą pod ciśnieniem dały podstawę do zaprojektowania i budowy nowych płuczek bardziej skutecznych i ekonomicznych. Prace powyższe oraz szereg innych udoskonaleń metody syntezy amoniaku sprawiły, że straty wodoru w całym ciągu produkcyjnym zredukowano z 25% do 4,5%, a zużycie koksu z gwarantowanych przez NEC 2,2 kg do 1,35 kg na 1 kg amoniaku.

Antoni Justat prowadził także bakteriologiczne studia nad oczyszczaniem ścieków przemysłowych, liczne prace z dziedziny techniki pomiarowej, studia i prace doświadczalne z dziedziny niskich temperatur – skraplanie powietrza i jego rektyfikację oraz wykraplanie metanu i argonu z mieszaniny azotowo-wodorowej w skali laboratoryjnej, przy pomocy aparatury prof. Karola Olszewskiego. W skali półtechnicznej w aparaturze własnej konstrukcji prowadził pionierskie badania w zakresie katalizy fluidalnej na przykładzie konwersji tlenku węgla z parą wodną z użyciem katalizatora żelazowo-chromowego. Wyniki swoich badań zastrzegł w postaci Patentu Polskiego nr 27665 z 30.11.1938 r. dotyczącego sposobu przeprowadzania katalitycznych reakcji w obecności katalizatorów stałych.

W latach 1933-35 był delegowany z PFZA jako rzeczoznawca techniczny do prac w komisji ekspertów wykonującej na rzecz Banku Polskiego ekspertyzy techniczne i opracowującej plany gospodarcze fabryk koncernu Dr Roman May w Poznaniu. Jak wysoce cenionym specjalistą w przemyśle związków azotowych był A. Justat świadczy fakt delegowania Go w roku 1937 na okres 3 miesięcy przez PFZA do Włoch dla uruchomienia nowo wybudowanej fabryki związków azotowych w Figline Valdarno z ramienia firmy Hydro-Nitro (Szwajcaria). W latach 1937-1939 zajmował się także działalnością dydaktyczną, prowadząc wykłady z technologii chemicznej na Wyższym Studium Nauk Społeczno-Gospodarczych w Katowicach.

W okresie okupacji mieszkał w Warszawie prowadząc własną firmę z artykułami chemicznymi. Okres powstania warszawskiego przeżył pod Warszawą w Gołkowie i Zalesiu, gdzie przypadkowo znalazł się w dniu 1 sierpnia

1944 r. Pierwszy okres po wyzwoleniu spędził w tejże miejscowości, a z chwilą zakończenia wojny zaczął pracę w Warszawie w Centrali Zaopatrzenia Przemysłu Chemicznego, gdzie początkowo pracował w charakterze inspektora technicznego, a następnie p.o. dyrektora technicznego do 30.09.1945 r.

Z dniem 1.10.1945 r. został przeniesiony do Gliwic do Zjednoczenia Przemysłu Nawozów Sztucznych na stanowisko dyrektora administracyjnego. W dniu 17.01.1947 r. podjął się organizacji Centrali Zaopatrzenia Przemysłu Chemicznego w Gliwicach i jako naczelny dyrektor tej instytucji pozostał na stanowisku do 31.03.1948 r. Z dniem 1.04.1948 r. przeszedł do filii Instytutu Chemii Przemysłowej w Gliwicach obejmując kierownictwo organizacji tej placówki. W dniu 1.01.1952 r. placówka przekształcona została w Instytut Chemii Nieorganicznej, w którym był dyrektorem naczelnym do 30.10.1952 r. W latach 1951-1952 wykładał technologię związków azotowych w Wieczorowej Szkole Inżynierskiej w Gliwicach.

Na wniosek Rektora i Senatu Politechniki Łódzkiej, decyzją Ministra Szkolnictwa Wyższego z dnia 1.10.1952 r. Antoni Justat został powołany na stanowisko kierownika Katedry Technologii Chemicznej Nieorganicznej na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej. Jako student I roku studiów na Wydziale Chemicznym miał możliwość wysłuchania Jego pierwszego wykładu z technologii chemicznej nieorganicznej, w obecności ówczesnego dziekana Wydziału Chemicznego prof. Edwarda Józefowicza. W roku 1952 A. Justat po uprzednim rozwodzie w roku 1947 z pierwszą małżonką, zawarł związek małżeński z Janiną Firlą z domu Bereżnicką, która wraz z mężem przeniosła się do Łodzi i została przyjęta do pracy w Katedrze Technologii Chemicznej Nieorganicznej na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej na stanowisku adiunkta. Dr Janina Justatowa zmarła w październiku 2005 r. w wieku lat 92.

Uchwałą z dnia 25.09.1954 r. Centralna Komisja Kwalifikacyjna przyznała A. Justatowi tytuł naukowy docenta. W pracy dydaktycznej na Uczelni bardzo wiele uwagi poświęcał kształceniu technologicznemu studentów i miał w tym zakresie bardzo znaczące nowatorskie osiągnięcia. Jego wykłady z technologii chemicznej nieorganicznej, z technologii wody i ścieków oraz bezpieczeństwa i higieny pracy były zawsze przykładem wiązania teorii z praktyką. Dzięki Jego osobistemu zaangażowaniu Wydział Chemiczny Politechniki Łódzkiej jako jeden



z pierwszych w kraju wprowadził do podstawowego kursu technologii chemicznej ćwiczenia rachunkowe i projektowe oraz pracownię technologiczną. Dla realizacji tych zajęć dydaktycznych opracował nowoczesny podręcznik akademicki pt. „Zadania rachunkowe z technologii chemicznej” (WNT, Warszawa 1960 r.). Pod redakcją A. Justat opracowany został skrypt dla studentów autorstwa Jego współpracowników: Z. Gorzki, K. Janio i S. Wiktorowskiego pt. „Ćwiczenia laboratoryjne z technologii chemicznej”, wydane w roku 1965 nakładem Politechniki Łódzkiej (wydanie drugie – 1996 r. i obecnie trzecie – 2008 r.). Korzystając z tego skryptu studenci Wydziału Chemicznego mogą w sposób eksperymentalny poznawać procesy chemiczne w skali laboratoryjnej. Na szczególne uznanie w kształceniu studentów w zakresie technologii chemicznej nieorganicznej zasługuje podręcznik akademicki wydany nakładem WNT w Warszawie w roku 1965 pt. „Technologia Chemiczna Nieorganiczna”, którego współredaktorem i współautorem jest A. Justat. W podręczniku tym opracował on 5 rozdziałów. Jest to niewątpliwie najlepszy i najbardziej obszerny jak dotychczas podręcznik akademicki opisujący wszystkie podstawowe procesy przemysłu chemicznego nieorganicznego. A. Justat swą pracę dydaktyczną w umiejętny sposób łączył z pracami organizacyjno-społecznymi. Był wieloletnim opiekunem praktyk wakacyjnych studentów, zmodernizował ich program, czyniąc je bardziej przydatnymi dla wykształcenia technologicznego. Dbał o wszechstronne wykształcenie swoich współpracowników – w szczególności w zakresie znajomości aktualnych problemów przemysłu chemicznego, poprzez wysyłanie ich w okresach wakacyjnych na miesięczne praktyki do różnych zakładów przemysłu chemicznego w kraju. A. Justat w okresie swojej pracy w Uczelni pełnił szereg odpowiedzialnych funkcji, w tym m.in. prodziekana Wydziału Chemicznego, pełnomocnika rektora d/s studiów stacjonarno-zaocznych dla pracujących na wszystkich wydziałach Politechniki Łódzkiej, współorganizatora filii Politechniki Łódzkiej w Płocku, prezesa Oddziału Łódzkiego Polskiego Towarzystwa Chemicznego, członka Rady Redakcyjnej czasopisma „Chemia Stosowana”, członka Łódzkiego Towarzystwa Naukowego i wiceprzewodniczącego Komitetu Nauk Chemicznych PAN. Był wychowawcą młodej kadry naukowej. Opiekował się sześcioma przewodami doktorskimi i wypromował 3 doktorów z dziedziny technologii chemicznej oraz z technologii

wody (K. Janio 1962, Z. Gorzka 1964 i S. Wiktorowski 1969). Był wielokrotnym recenzentem prac doktorskich i habilitacyjnych, artykułów i opracowań naukowych, skryptów i podręczników.

W gronie pracowników uczelni, wydziału i katedry cieszył się szacunkiem i zaufaniem. A. Justat należał do grona chemików technologów o wysokich kwalifikacjach naukowych i wielkiej znajomości problemów przemysłowych, których rozwiązywaniu poświęcił większą część swojego życia. Ponad 20 opracowań dla przemysłu z dziedziny technologii chemicznej nieorganicznej wykonywanych na podstawie własnych badań laboratoryjnych, półtechnicznych i przemysłowych, 25 oryginalnych artykułów naukowych, opiniowanie nowoczesnych technologii w ramach prac zespołów powoływanych przez Ministra Przemysłu Chemicznego i PAN to tylko niektóre przykłady z Jego bogatej działalności naukowo-przemysłowej. Uchwałą Rady Państwa z dnia 22.04.1967 otrzymał tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego nauk technicznych, a z dniem 1.05.1967 powołany został na stanowisko profesora nadzwyczajnego w Katedrze Technologii Chemicznej Nieorganicznej na Wydziale Chemicznym w Politechnice Łódzkiej.

Był Kawalerem Krzyża Walecznych (1922) i odznaczenia Medal Interalliée (1922). Z kolei za swoją działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną był wyróżniany nagrodami Ministra i Rektora, a za zasługi położone dla regionu warszawskiego Honorową Odznaką Województwa Warszawskiego. Treścią Jego życia była zawsze wyętzona praca dla dobra gospodarki narodowej, uczelni i dla ludzi, z którymi współpracował i pracy tej poświęcił całe swoje życie. Był wielbicielem muzyki klasycznej, częstym gościem Filharmonii Łódzkiej. Dla zapraszanych przyjaciół podczas swoich imienin urządzał koncerty życzeń z bogatego zbioru oper w wykonaniu najsławniejszych solistów.

Na emeryturę odszedł z dniem 30.09.1968 po ukończeniu 70 lat życia. Prof. A. Justat 23 czerwca 1973 r. zmarł w Łodzi – pozostając w pamięci potomnych jako wybitny technolog i wychowawca młodzieży, długoletni zasłużony pracownik przemysłu chemicznego i Politechniki Łódzkiej. Jest pochowany wraz z małżonką Janiną w Warszawie na cywilnym cmentarzu na Powązkach (nr kwatery 330A).

Doc. dr inż. Zbigniew Gorzka



Anastazja Czajka

174906@edu.p.lodz.pl

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Kontrola stanu środowiska glebowego w sąsiedztwie infrastruktury komunikacyjnej

Wstęp

Infrastruktura transportowa oddziałuje na rozwój gospodarczy i społeczny kraju, rozbudowana sieć dróg i autostrad świadczy o dobrobycie, postępie technicznym i cywilizacyjnym państwa, a opłaty tranzytowe mogą być źródłem dochodów. Nowe inwestycje drogowe zajmują coraz większy obszar i bezpowrotnie zmieniają krajobraz naturalny, w którym obok dróg powstają parkingi, stacje paliw, restauracje przydrożne, hotele. Niestety wraz z intensywnym rozwojem infrastruktury komunikacyjnej pojawia się niebezpieczeństwo zanieczyszczenia środowiska, w tym m.in. gleb. Obecność zanieczyszczeń wpływa na stan gruntów. Szkodliwe substancje zmieniają właściwości gleby pod względem chemicznym, fizycznym i biologicznym, mogą zakłócać prawidłową wegetację roślin, mają wpływ na wygląd szaty roślinnej, a w przypadku gleb rolniczych mogą obniżyć ich urodzajność i wpływać na wielkość plonów. Współczesny system infrastruktury transportowej powinien być rozwijany w sposób zrównoważony. Dlatego planowanie nowych inwestycji wymaga uwzględnienia potrzeb gospodarki, społeczeństwa oraz środowiska naturalnego. Zanieczyszczenia z dróg przedostają się bezpośrednio do gleby albo są przenoszone w sposób niekontrolowany wraz z powietrzem w postaci cząstek zawieszonych, pyłów lub substancji lotnych. Wraz z deszczem zanieczyszczenia z powietrza mogą migrować do gleby [1-3].

Intensywny rozwój infrastruktury komunikacyjnej może przyczyniać się do zanieczyszczenia środowiska substancjami ropopochodnymi, organicznymi związkami powstającymi przy niepełnym spalaniu paliw, gazami towarzyszącymi spalaniu paliw, składnikami olejów i smarów, m.in. związkami metali ciężkich, solą stosowaną do likwidacji oblodzenia dróg zimą. Szkodliwe działanie mogą mieć substancje przedostające się do gleby w wyniku katastrof drogowych. Do środowiska mogą również uwalniać się składniki materiałów konstrukcyjnych drogi i nawierzchni. Negatywne skutki ma też nieprzemyślane zachowanie użytkowników dróg, którzy zostawiają po sobie śmieci. Ze środków transportu mogą

przedostawać się do atmosfery pyły powstające podczas ścierania okładzin hamulców i tarcz sprzęgłowych oraz opon. Z powodu małych wymiarów cząstki stałe utrzymują się długo w atmosferze i rozprzestrzeniają się na dużych obszarach, a wraz z opadami mogą przedostawać się do gleby [1, 4, 5]. Szacuje się, że w dużych miastach spaliny emitowane przez samochody stanowią około 80% wszystkich zanieczyszczeń powietrza [3]. Składniki gazów spalinowych – węglowodory i tlenki azotu – w wyniku oddziaływania z promieniowaniem słonecznym tworzą smog fotochemiczny [6].

Monitoring stanu gleb przy drogach

Gleby w bliskim sąsiedztwie infrastruktury komunikacyjnej są bezpośrednio narażone na zanieczyszczenie metalami ciężkimi emitowanymi w postaci m.in. składników spalin i pyłów z elementów konstrukcyjnych samochodów. Przyjmuje się, że pas gleby w odległości 150 m po obu stronach jezdni jest w największym stopniu narażony na oddziaływanie zanieczyszczeń komunikacyjnych. Jest to granica umowna, znaczenie ma również ukształtowanie terenu oraz sposób jego zagospodarowania. O rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń decyduje też rodzaj infrastruktury komunikacyjnej i związane z tym natężenie ruchu drogowego [1, 3, 6]. Według Werkenthina [5] w Europie największe stężenie metali ciężkich występuje w warstwie wierzchniej gleby oddalonej do 5 m od drogi. Zanieczyszczenia mogą jednak migrować na znaczne odległości wraz z wodą lub być przenoszone przez wiatr. W zależności od konstrukcji drogi, użytych materiałów budowlanych oraz nachylenia drogi zanieczyszczenia mogą być transportowane, np. wraz z rozpryskiem kropli wody na odległość do 10 m. Dodatkowo bardzo małe cząstki mogą się przenosić wraz z powietrzem zgodnie z kierunkiem wiatru na znaczne odległości, oddziałując na tereny oddalone nawet do 250 m [5, 6].

Niektóre metale ciężkie są niezbędnymi mikroelementami dla roślin i organizmów żywych, np. cynk i miedź. Jednak powyżej pewnej granicy stężeń metale ciężkie są toksyczne.



W glebach w strefie oddziaływania drogi i zanieczyszczeń komunikacyjnych bada się najczęściej zawartość kadmu, chromu, miedzi, ołowiu, cynku i niklu [5]. Powszechne stosowanie w samochodach konwerterów katalitycznych ma na celu zmniejszenie zanieczyszczenia atmosfery gazami spalinowymi. Układy katalityczne zawierają jako składniki aktywne platynę, rod i pallad. Dlatego w ostatnich czasach uważa się za konieczny monitoring tych metali w glebie, ponieważ obecne w gorącym strumieniu gazów wydechowych mogą przedostawać się do środowiska. W porównaniu do badań przeprowadzonych w 1994 roku w Niemczech zawartość platyny w glebie znacząco zwiększyła się po dwóch latach z 46 do 330 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Kiedyś do benzyny dodawano związki ołowiu jako środek przeciwstukowy. Ołów uwalniał się do środowiska wraz ze strumieniem gazów wydechowych w postaci bromku ołowiu(II). W raporcie Polskiego Towarzystwa Chemicznego z 1984 roku odnotowano, że na każdy kilometr drogi w Polsce przypada 5,6 kg metalicznego ołowiu. W Polsce wyeliminowanie czteroetylu ołowiu z paliwa rozpoczęto w 2005 roku. Jednak ze względu na silnie toksyczne właściwości tego metalu oraz jego zdolność do bioakumulacji uważa się za konieczne stałe monitorowanie tego pierwiastka w glebie [6].

W najbliższym sąsiedztwie drogi oznacza się metale w różnej formie, jako cząstki stałe zawieszone, osady albo w postaci rozpuszczonej. Jako cząstki stałe oznacza się najczęściej miedź, cynk i ołów. Z kolei kadm, sód i wapń występują w postaci stałej albo w formie rozpuszczonej [5].

Metody ochrony środowiska gleb przed zanieczyszczeniem – działania naprawcze

Mając na uwadze negatywne oddziaływanie rozwiniętej infrastruktury drogowej na środowisko konieczne jest podejmowanie działań w celu ochrony gleb przed zanieczyszczeniem. Jedną z metod ochrony jest odpowiedni dobór roślinności przydrożnej. Strefy zieleni izolacyjnej uwzględnia się na etapie projektowania dróg, zwracając uwagę na natężenie ruchu na danym odcinku drogi oraz potencjalnie szkodliwe czynniki. Obszary przydrożne zagospodarowane w sposób świadomy mogą stanowić dobrą barierę ochronną, która zatrzymuje zanieczyszczenia. Dlatego istotne jest odpowiednie i kontrolowane planowanie oraz gospodarowanie terenami wokół inwestycji infrastruktury komunikacyjnej [1, 7].

Pojęcie zieleni przydrożnej zostało zdefiniowane w ustawie o drogach publicznych [8] w art. 4 pkt 22 i oznacza roślinność umieszczoną w pasie drogowym, mającą na celu w szczególności ochronę użytkowników drogi przed oślepieniem przez pojazdy nadjeżdżające z kierunku przeciwnego,

ochronę drogi przed zawiewaniem i zaśniewaniem, ochronę przyległego terenu przed nadmiernym hałasem, zanieczyszczeniem powietrza, wody i gleby. Odpowiednio zaprojektowane wzdłuż dróg pasy roślinności mają podwójną rolę, stanowią warstwę ochronną dla gleb położonych dalej od jezdni oraz poprawiają walory estetyczne i wpływają na postrzeganie inwestycji jako bezpiecznej dla środowiska. Mając na uwadze efektywność izolacji ważny jest wybór odpowiednich gatunków roślin. Ponadto należy uwzględnić takie czynniki jak wysokość i szerokość oraz zagęszczenie warstwy roślinności, a także usytuowanie układu izolacyjnego możliwie blisko granicy jezdni. Jako warstwę zieleni izolacyjnej określa się roślinność rozciągającą się na szerokości 10-20 m oraz o wysokości minimalnej 8 m. Wzdłuż szlaków komunikacyjnych sadi się zarówno krzewy i drzewa liściaste jak i zimozielone rośliny iglaste. Układy izolacyjne tworzy się w postaci zróżnicowanej roślinności wielowarstwowej albo jako gęste żywopłoty. Spotyka się również sadzenie roślinności na pasie dzielącym jezdnie [1, 9].

Systemy odwodnienia dróg zapobiegają przedostawianiu się zanieczyszczeń bezpośrednio do wód i gleb. Odwodnienie drogi realizuje się poprzez projektowanie rowów odprowadzających oraz za pomocą urządzeń ściekowych i kanalizacyjnych. Do ochrony środowiska przed zanieczyszczeniem spływami z nawierzchni zastosowanie mają następujące rozwiązania [9]:

- zbiorniki infiltracyjne
- zbiorniki retencyjno – infiltracyjne
- rowy infiltracyjne
- powierzchnie trawiaste, rowy trawiaste
- piaskowniki, osadniki
- separatory substancji ropopochodnych
- studnie chłonne, rowy chłonne

W tabeli 1 przedstawiono efektywność oczyszczania wód opadowych za pomocą różnych rozwiązań. Roślinność w porównaniu z bardziej skomplikowanymi technologiami oczyszczania charakteryzuje się nierównomierną i losową wydajnością retencji zawiesin ogólnych i substancji ropopochodnych.

Metale ciężkie w materiałach budowlanych

Odzyskiwanie materiałów i surowców z recyklingu do wytwarzania materiałów budowlanych jest przykładem dążenia do poszukiwania nowych i wdrażania znanych metod ponownego przetwarzania i wykorzystywania odpadów. Promowanie stosowania surowców wtórnych wynika z założeń europejskiej strategii zrównoważonego gospodarowania zasobami.



Tabela 1. Porównanie skuteczności metod ochrony środowiska przed migracją zanieczyszczeń drogowych [9]

Urządzenie oczyszczające	Zawiesiny ogólne	Substancje ropopochodne
Rowy trawiaste, powierzchnie trawiaste	40-90%	20-90%
Zbiorniki retencyjno – oczyszczające (szczelne)	80%	80%
Zbiorniki infiltracyjne	80%	80%
Piaskowniki, osadniki, studnie osadowe	60-80%	60-80%
Grawitacyjne separatory substancji ropopochodnych (klasy II)	–	> 90%
Grawitacyjne separatory substancji ropopochodnych (klasy I)	–	18-96% (średnio 58%)
Rowy chłonne, studnie chłonne	80%	80%

Jednym ze sposobów zagospodarowania surowców odpadowych jest rozwijanie metod wytwarzania kruszyw alternatywnych oraz ich wykorzystanie w budownictwie. Pojęcie kruszywa alternatywne dotyczy kruszyw wytwarzanych z surowców wtórnych w odróżnieniu od kruszywa naturalnego otrzymywanego z surowców mineralnych [10-16]. Producenci kruszyw alternatywnych wykorzystują materiały odpadowe pochodzące m.in. z przemysłu energetycznego, hutnictwa oraz górnictwa. Na kruszywo przetwarza się również odpady z przemysłu ceramicznego, m.in. niespełniające wymagań jakościowych dachówki, cegły i kafle. Wdrażane są również metody odzyskiwania materiałów pochodzących z rozbiórki obiektów budowlanych [10-13, 17].

Kruszywa wytwarzane z surowców odpadowych mają duże zastosowanie szczególnie w budownictwie drogowym, gdzie wykorzystywane są przede wszystkim jako materiał do wzmocnienia skarp i budowy nasypów oraz wyrównywania terenu. W konstrukcjach drogowych kruszywa alternatywne mają zastosowanie jako podbudowa, czyli warstwa wzmacniająca pod nawierzchnią. Stosowane są również jako nawierzchnia z kruszywa stabilizowanego mechanicznie lub jako nawierzchnia w postaci cementogruntu [10-13].

Zagospodarowanie odpadów wiąże się z koniecznością analizy ich właściwości również pod względem bezpieczeństwa dla zdrowia i środowiska. Materiały wytwarzane z surowców odpadowych wymagają innego rozpatrywania i w związku z tym nowych, ujednoliconych metod badań wg PN-EN. Metody badań obowiązujące dla produktów wytwarzanych z surowców naturalnych nie zawsze będą odpowiednie, ponieważ materiały i surowce przetwarzane znacznie różnią się składem chemicznym od minerałów występujących w złożach naturalnych. Pierwiastki śladowe, w tym metale ciężkie mogą występować we wszystkich surowcach i materiałach oraz w odpadach przemysłowych wykorzystywanych w budownictwie. W tabeli 2 przedstawiono przykładowe zawartości metali ciężkich w materiałach, które mogą być składnikiem mieszanek betonowych [17].

W Polsce obserwuje się wzrost masy odpadów paleniskowych, będący konsekwencją dopuszczenia spalania węgla z paliwami alternatywnymi. Przykładem odpadów energetycznych są popioły lotne, które wykorzystuje się w produkcji cementu i betonu. Surowce odpadowe i paliwa wtórne mają coraz większe zastosowanie przy produkcji klinkieru portlandzkiego [17, 18]. W 2011 roku około

Tabela 2. Zawartość metali ciężkich w wybranych składnikach mieszanek betonowych [17]

Materiał	Zawartość metali ciężkich [mg/kg s.m.]						
	Cr	Cd	Pb	Co	Ni	Mn	Cu
CEM I 32,5 R	29	4,5	42	6	7	244	17
Cement portlandzki popiołowy (28% popiołu)	56	7	57	15	23	317	30
Cement hutniczy (60% żużła)	17	3,1	22	6,7	3,2	710	62
Żużel wielkopiecowy	12	3	<5	6	<2,5	1978	12
Popiół lotny krzemionkowy	97	11	34	32	41	482	97
Pył krzemionkowy	15	3	64	90	160	528	15



40% energii cieplnej potrzebnej do wypalania klinkieru w piecach obrotowych pochodziło ze spalania paliw wtórnych. Według danych z roku 2013 w niektórych zakładach nawet 85% energii pozyskiwano z paliw alternatywnych. Taka tendencja jest spowodowana korzyścią wynikającą z obniżenia kosztów produkcji oraz stosowaniem się do wymagań dotyczących emisji CO₂ i regulacji określających przetwarzanie odpadów. Jako paliwo alternatywne w cementowniach zastosowanie mają odpady komunalne, zużyte opony samochodowe, miąż gumowy, zużyte oleje, łupki powęglowe, trociny i biomasa [18]. W cementowniach do produkcji klinkieru portlandzkiego wykorzystuje się surowce węglanowe, skały wapienne i margle. W terminologii przemysłu cementowego są to tzw. surowce normalne lub wysokie czyli o zawartości odpowiednio 42-45% CaO (w przeliczeniu 75-80 % CaCO₃) lub > 45 % CaO (80 % CaCO₃). Zastosowanie mają również surowce ilaste i gliny, które klasyfikowane są jako surowce niskie (o zawartości CaO < 42 %) oraz materiały zastępujące naturalne surowce niskie – odpady przemysłowe: pyły, popioły, żużle. Stosowanie do produkcji klinkieru paliw alternatywnych i poprodukcyjnych surowców odpadowych może rodzić obawy podwyższenia zawartości metali ciężkich w cemencie i zagrożenia zwiększonej ich emisji z wyrobów wytwarzanych z cementu [18, 19]. W tabeli 3 przedstawiono zawartości metali ciężkich w różnych paliwach alternatywnych.

która jest przedmiotem badań [17, 20] ze względu na potencjalne możliwości immobilizowania w jej strukturze substancji niebezpiecznych dla środowiska oraz dla zdrowia i życia ludzi. Faza typu C-S-H tworzy się w procesie hydratacji m.in. cementu, spoiwa żużlowo-alkalicznego oraz w strukturze betonu. Na jej powierzchni mogą być adsorbowane metale ciężkie, ze względu na rozwiniętą powierzchnię właściwą i związany z tym duży potencjał sorpcyjny. Metale ciężkie ulegają nie tylko adsorpcji na powierzchni struktury typu C-S-H, ale tworzą też roztwory stałe w jej obszarze. Możliwe jest również przyłączenie pierwiastków śladowych, a następnie wbudowanie ich w sieć krystaliczną. Autorzy [17] zaobserwowali immobilizację wybranych metali ciężkich w postaci jonów: Zn²⁺, Cr³⁺, Cd²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺ oraz Pb²⁺ w strukturze betonu z dodatkiem popiołu lotnego w różnej ilości. W procesie immobilizacji metali ciężkich w betonie można wyróżnić wiązanie chemiczne pierwiastków z produktami hydratacji cementu oraz adsorpcję fizyczną na powierzchni ziaren uwodnionych spoiw. Zatrzymywanie metali ciężkich w betonie jest uwarunkowane m.in. stopniem wykrywania się fazy typu C-S-H w procesie hydratacji spoiwa. Pierwiastki śladowe łatwiej wbudowują się w sieć krystaliczną, jednak faza C-S-H jest częściowo amorficzna. Charakteryzuje się małym stopniem uporządkowania struktury i zmiennym składem chemicznym, stosunek molowy tlenków CaO: SiO₂ zmienia się od 0,8 do 2,0. Jednak głównym czynnikiem, któ-

Tabela 3. Przykładowe zawartości metali ciężkich w wybranych paliwach alternatywnych [mg/kg] [18]

Metal	Rodzaj paliwa alternatywnego		
	odpady komunalne	odpady z przemysłu petrochemicznego	opony
	zawartość [mg/kg]		
Cr	70-2745	4070-5800	130-640
Zn	245-9000	1600-2300	1300-35000
Cd	8-60	15-30	1-20
Pb	10-240	270-380	3-760
Ni	7-790	820-1170	17-380
Cu	30-12800	1780-2550	10-300

W świetle tych informacji ważne staje się określenie wpływu obiektów budowlanych wykonanych z zastosowaniem tych materiałów na środowisko. W badaniach środowiskowych szczególnie istotne jest rozpatrywanie uwalniania metali ciężkich do środowiska wodnego bądź glebowego [17].

Immobilizacja metali ciężkich w betonie

W produktach hydratacji materiałów budowlanych wyróżnia się fazę C-S-H (uwodnionych krzemianów wapnia),

ry decyduje o mobilności/migracji metali ciężkich jest tzw. środowisko immobilizacji, czyli odczyn. Metale ciężkie mogą się wytrącać w różnej formie: wodorotlenków, węglanów, siarczanów oraz krzemianów. Środowisko o wysokiej alkalności sprzyja tworzeniu przez metale ciężkie związków trudnorozpuszczalnych [17, 20]. Metodami obrazowania SEM z możliwością badania składu chemicznego (EDS) w mikrostrukturze betonu można oznaczyć oprócz fazy C-S-H, również obecność fazy typu C-A-H, czyli uwodnionych glinianów wapnia. Występowanie obu faz i ich wzajemne



proporcje wpływają na aktywność wbudowywania metali ciężkich w strukturę. Migracja pierwiastków do środowiska jest utrudniona przez zarastanie porów kapilarnych produktami hydratacji spoiwa [17, 20]. W publikacji [17] stwierdzono wpływ ilości popiołu lotnego krzemionkowego w betonie na kształtowanie się obu faz. Analizowane pierwiastki były w największym stopniu związane w próbkach betonu o zawartości 15% popiołu lotnego w spoiwie. Zwiększanie zawartości popiołu w próbkach powoduje większą migrację oznaczanych metali. Przykładowo poziom immobilizacji miedzi wynosi 90,0% przy 40% udziale popiołu w betonie, natomiast w próbkach betonu o zawartości 15% popiołu miedź jest zatrzymywana w 99,9%. W mieszankach betonowych o większej zawartości popiołu lotnego zachodzi powolna reakcja pucolanowa popiołu z cementem. Wzrost zawartości popiołu lotnego wydłuża okres krystalizacji fazy C-S-H, obniżając efektywność wbudowywania się pierwiastków śladowych [17].

Kontrola emisji związków chemicznych z materiałów budowlanych – metody badania materiałów budowlanych

W badaniach przedstawionych w literaturze przedmiotu [17, 21] do ilościowego oznaczenia zawartości metali ciężkich wymywanych z surowców, materiałów i wyrobów budowlanych oraz z obiektów konstrukcyjnych zastosowano testy kolumnowe (perkolacyjne) oraz metody z grupy TANK. Są to metody badań opisane w normach europejskich. Od producentów wyrobów i materiałów budowlanych wymaga się przestrzegania wymagań podstawowych podanych w Dyrektywie 89/106/EEC. Dokument ten zobowiązuje do wytwarzania materiałów w sposób, który nie będzie powodował negatywnego oddziaływania na zdrowie człowieka oraz jakość środowiska naturalnego. W ocenie wpływu na środowisko powinno się uwzględnić również etap eksploatacji materiałów budowlanych w konstrukcji budowlanej [21]. Wybierając metodę badań uwzględnia się postać materiału budowlanego w obiekcie konstrukcyjnym, czyli tzw. scenariusz aplikacji. W ten sposób rozpatrywane są różne mechanizmy uwalniania się metali ciężkich z materiałów budowlanych, np. dla konstrukcji monolitycznych zachodzą procesy wymywania z powierzchni, procesy dyfuzyjne oraz rozpuszczanie [21]. W budownictwie drogowym materiał budowlany ekspozycyjny jest w różnej formie: wykorzystywane są kruszywa o określonej granulacji, ale zastosowanie ma również mniej jednorodny gruz budowlany, nawierzchnia asfaltowa lub betonowa mająca postać monolityczną. W projekcie drogi uwzględnia się też systemy odprowadzania wody, studzienki kanalizacyjne, rury itp. [22 – 25].

Podział materiałów budowlanych ze względu na tzw. scenariusz aplikacji, czyli formę ekspozycji materiału w konstrukcji [21]:

- materiały zgranulowane umieszczane w gruncie lub na jego powierzchni;
- materiały monolityczne umieszczane w gruncie lub na jego powierzchni;
- luźny materiał, np. gruz budowlany o różnej wielkości ziaren;
- rury (np. do transportu wody pitnej) umieszczone w ziemi (możliwe wymywanie metali ciężkich zarówno do wody, jak i otaczającej gleby);
- monolityczne formy poddawane procesom moczenia i suszenia (np. elementy konstrukcji budowlanej wystawione na działanie deszczu i słońca);
- formy monolityczne umieszczone w wodzie (np. konstrukcje przybrzeżne).

W projekcie Europejskiego Komitetu Technicznego materiały budowlane scharakteryzowano pod kątem przepuszczalności wody i podzielono na trzy scenariusze aplikacji [21]:

- scenariusz I – zalecany w przypadku produktów nieprzepuszczalnych umieszczonych w gruncie lub pod wodą oraz dla materiałów budowlanych, dla których obserwuje się ruch wody po powierzchni, np. metalowe płyty, paski, dachówki ceramiczne, szkło, produkty bitumiczne;
- scenariusz II – charakterystyczny dla produktów o niskiej przepuszczalności, w których woda transportowana jest do wnętrza matrycy przez pory kapilarne. Rozpuszczone substancje transportowane są na zewnątrz matrycy na skutek adwekcji i dyfuzji, np. cegły, beton, zaprawy, rury;
- scenariusz III – produkty przepuszczalne (porowate), przez które woda łatwo przepływa na skutek siły grawitacji, np. gleba, materiały o dużej porowatości, gruz budowlany (tabela 4).

Do oznaczenia poziomu immobilizacji metali ciężkich oraz stopnia ich wymywania z materiałów budowlanych stosuje się różne metody analityczne. Etap końcowy polega na ilościowym oznaczeniu pierwiastków w badanym roztworze. Ważnym etapem jest odpowiednie przygotowanie próbek do badań, np. poprzez zmielenie. Mielenie ma na celu nie tylko rozdrobnienie materiału do badań. Pozwala uzyskać próbki jednorodne o odpowiednim uziarnieniu. W normach przedmiotowych dopuszcza się badanie wyciągów wodnych z odpadów o różnym stopniu uziarnienia. Należy wtedy zastosować zmienny stosunek objętości medium ługującego do masy próbki [17].

Autorzy publikacji [21] porównali metodykę badań opisaną w normie PN-EN 12457-4 z badaniami typu TANK



Tabela 4. Scenariusze uwalniania substancji niebezpiecznych z materiałów konstrukcyjnych i odpowiadające im metody badawcze [21]

Materiały	Proponowane metody badawcze	Przykład materiału
nieprzepuszczalne	DSLIT – dynamiczne wymywanie z powierzchni	płyty metalowe, szkło, bitumen
o niskiej przepuszczalności	metoda DSLIT i dodatkowo metoda dla materiału rozdrobnionego	beton, cegły, zaprawy
przepuszczalne	metoda perkolacyjna (kolumnowa)	gleba, materiał rozdrobniony (np. gruz budowlany)

uwzględnionymi w EA NEN 7375 oraz z zapisami w dokumentach Komitetu Technicznego CEN PrCEN/TS 14429. Badania zgodne z Polską Normą i grupę badań TANK scharakteryzowali pod kątem następujących czynników:

- czasu trwania: długoterminowe lub krótkoterminowe,
- dynamiki wymywania,
- sposobu przygotowania próbki,
- odczynu medium wymywającego.

Odczyn medium wymywającego – obojętny lub kwaśny; w normie EA NEN 7375 ciecz o neutralnym pH obmywa próbkę monolityczną, cieczą obmywającą jest woda destylowana. W dokumentach Komitetu Technicznego CEN PrCEN/TS 14429 badaną próbkę poddaje się działaniu cieczy o różnym odczynie pH (w granicach od 4 do 12). Pod względem czasu trwania testy wymywania dzieli się na długoterminowe, do których należą badania typu TANK oraz krótkoterminowe opisane w normie PN-EN 12457-4. W normie polskiej przedstawiono metodykę badań wymywania metali ciężkich z ziarnistych materiałów odpadowych i osadów. Pod względem dynamiki wyróżnia się wymywanie: (a) statyczne – pozwalające przewidzieć zachowanie się stwardniałego betonu w warunkach statycznych, badania z grupy metod TANK; (b) dynamiczne – wykonywanie testów wymywalności w warunkach dynamicznych, metoda z normy PN-EN 12457-4. Ciecz wymywająca kontaktuje się z dużą powierzchnią rozdrobnionego materiału odpadowego, co pozwala stosować ten test np. w przypadku próbek gruzu. Biorąc pod uwagę sposób przygotowania próbki metody dzieli się na badania próbek o strukturze nienaruszonej, próbki rozdrobnione, bądź fragmenty wycięte z monolitu. W testach z grupy TANK badaniom poddaje się próbki monolityczne umieszczone na określony czas w pojemnikach z cieczą wymywającą (wodą demineralizowaną). Natomiast w normie PN-EN 12457-4 próbkę o masie 100 g rozdrabnia się do wielkości ziaren poniżej 10 mm. Taką rozdrobnioną i ujednoliconą próbkę zalewa się odpowiednią ilością wody i wytrząsa przez 24h. W normie określono stosunek fazy ciekłej do fazy stałej, L/S = 10. W ten sposób można określić uwalnianie metali ciężkich z gruzu budowlanego [21].

Stopień wymywania metali ciężkich z gleb, osadów i odpadów uzależniony jest od kilku czynników fizycznych i chemicznych. Jednym z kluczowych parametrów regulujących proces wymywania jest pH środowiska, w jakim znajduje się odpad. W badaniach laboratoryjnych dąży się do odzwierciedlenia warunków naturalnych panujących w środowisku, na przykład na składowiskach odpadów. W związku z tym, ważnym czynnikiem wpływającym na mobilność metali ciężkich jest rodzaj oraz pH cieczy wymywającej. Do określania uwalniania metali ciężkich w funkcji pH wykorzystuje się tak zwane pH-dependent tests. Badania polegają na osiągnięciu stanu równowagi pomiędzy materiałem badawczym, a cieczą wymywającą. Stan ten osiąga się poprzez dodanie do wody wstępnie ustalonej (obliczeniowej) ilości kwasu lub zasady, w celu osiągnięcia i utrzymania na stałym poziomie pożądanej wartości pH lub wartość ta jest stale kontrolowana i regulowana poprzez automatyczne dodawanie kwasu lub zasady. Metody te w konsekwencji pozwalają na dokładną ocenę wpływu środowiska na badany materiał [26]. W pracy przedstawiono wstępne wyniki wymywalności metali ciężkich (Zn, Cu, Pb, Ni, Cd, Cr) w zależności od pH cieczy wymywającej. Materiał do badań stanowił żużel hutniczy z huty cynku i ołowiu, z działu rafinacji ołowiu. Przy wykorzystaniu HNO_3 oraz NaOH doprowadzono wodę dejonizowaną do odpowiedniej wartości pH: 3; 5; 10,5 oraz 12, a następnie zalano nią próbki odpadu o rozdrobnieniu <1 mm, <2,8 mm oraz <4 mm. Zbadano także wymywalność metali ciężkich z odpadu w wodzie dejonizowanej o pH 7,4. Badania przeprowadzono w oparciu o normę PN-EN 12457-2:2006. Stwierdzono wpływ pH wody na poziom wymywania metali ciężkich. Najniższe stężenia większości metali oznaczono w środowisku obojętnym, a wysokie przy pH 3 oraz 10,5. Wyjątek stanowił chrom, którego stężenia w każdej frakcji badanego odpadu były najniższe przy pH 3, a najwyższe przy pH 12 [26].

Informacja dotycząca uwalniania substancji niebezpiecznych z wyrobu budowlanego powinna być zawarta w informacji towarzyszącej oznakowaniu CE. Pogrupowanie materiałów na te, które wymagają dalszych testów zwią-



zanych z uwalnianiem substancji niebezpiecznych i na te, które takich testów nie wymagają, gdyż mechanizm i poziom uwalniania jest już rozpoznany, ułatwiłoby producentom procedury kontroli i umożliwiłoby klasyfikację ogólnoeuropejską materiałów. W dokumencie Komitetu Technicznego zastrzega się prawo każdego kraju członkowskiego do stanowienia własnych limitów, dotyczących uwalniania substancji niebezpiecznych do gleb, wód podziemnych i powierzchniowych oraz powietrza wewnątrz pomieszczeń (indoor air) [21].

Ważnym problemem jest także ustalenie hierarchii w stosowaniu testów wymagalności. Wyróżnia się 3 poziomy w tej hierarchii [21]:

- testy charakteryzujące, stosowane do charakterystryki podstawowej wymywalności z określonego materiału. Dane te pozwalają na ocenę i podział materiałów na kategorie. W ramach jednej kategorii mogą być ujęte te materiały, w których mechanizm uwalniania metali ciężkich jest podobny;
 - badanie zgodności – testy, które mają na celu sprawdzić za pomocą innych badań, czy materiał jest zgodny z poprzednim opisem (testem charakteryzującym), a następnie czy spełnia założone kryteria. Po określeniu charakteru wymywalności i charakterystryki wstępnej, prosty test pomiaru tej samej właściwości (np. wymywanie przy określonym odczynie pH) jest wystarczający;
 - weryfikacja na miejscu/badania kontroli jakości – są to szybkie testy, które pozwalają stwierdzić, czy materiał jest zgodny z wcześniej ustalonym lub przewidywanym zachowaniem. W tym przypadku można dokonać prostego pomiaru chemicznego (np. pH, przewodność) czy też kontroli wzrokowej. Aby uzyskać pewność, należy jednak wykonać ocenę zgodności.
- Główną zaletą hierarchii badań jest możliwość dokonania

wstępnej charakterystryki i wybór wielu prostszych metod badawczych. Przykłady metod badań wraz z opisami oraz sposób, w jaki mogą być wykorzystane do różnych celów przedstawiono w tabeli 5.

Z dokumentów przygotowanych przez Komitet Techniczny TC 351 wynika, że prace nad systemem oceny środowiskowej materiałów konstrukcyjnych (w tym szczególnie nad problemem wymywania substancji niebezpiecznych), idą w kierunku podziału tych materiałów na wymagające dalszych testów (WTF) oraz te, które po wstępnej kontroli nie wymagają testów (WT). Taki podział miałby dotyczyć [21]:

- wyrobów budowlanych wytworzonych z jednego lub więcej materiału, np. zaprawy murarskie, rury, okna;
- materiałów kształtujących produkt i charakteryzujących uwalnianie z niego substancji niebezpiecznych, np. cegły, dachówki ceramiczne, ściany wyprodukowane z zakonserwowanego drewna lub materiały bezpośrednio użyte w pracach konstrukcyjnych, np. beton, belki drewniane, niezwiązane kruszywa do nasypów i fundamentów drogowych;
- składników użytych do wytworzenia materiału, np. cement, wapno, kruszywa do betonu;
- elementów konstrukcji budowlanej, takich jak np. płyty gipsowo – kartonowe i całe, okno zamontowane w systemie ścian prefabrykowanych, ramy i podwójnie oszklone panele okienne.

Literatura

- [1] Czubaszek R., Bartoszek K., 2011, Zawartość wybranych metali ciężkich w glebach w zależności od ich odległości od ulicy i sposobu użytkowania terenu, *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 2, 27-34.
- [2] Komornicki T., *Infrastruktura transportowa*, [w:] Terytorialny wymiar rozwoju. Polska z perspektywy badań ESPON, Olechnicka A., Wojnar K. (red.), Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa 2013, s. 104-117.

Tabela 5. Przykłady zastosowania różnych metod badań do odpowiednich poziomów charakterystryki [21]

Test	Opis	Poziom
PrEN 14429	Test pozwalający określić zależność wymywalności od pH, wykonywany na materiałach granulowanych lub o zredukowanych wymiarach	Testy charakteryzujące
PrEN 14405	Testy kolumnowe, wykonywane na materiałach granulowanych	Testy charakteryzujące
PN-EN 12457	Tzw. batch test, naturalny odczyn pH odczynnika wymywającego, wykonywany na materiałach granulowanych	Badanie zgodności
WI292010	Tzw. TANK test, wykonywany na próbce monolitycznej	Badanie zgodności



- [3] Potarzycki J., Apolinska K., 2000, Wpływ autostrady na tereny przyległe, Materiały z VII Międzynarodowego Sympozjum Szkoleniowego „Wpływ zanieczyszczeń naftowych i chemicznych na środowisko”, Piła.
- [4] Walczak B., Chutko T., 2014, Zawartość miedzi w glebie w różnych odległościach od krawędzi jezdni drogi krajowej nr 3 w okolicach Nowego Miasteczka, Inżynieria Środowiska, 155 (35), 95-105.
- [5] Werkenthin M., Assessment of metal contamination and retention capacity of highway embankment soils, rozprawa doktorska, Berlin 2015.
- [6] Hofman M., Wachowski L., 2010, Badania zawartości platyny i ołowiu w glebie wzdłuż głównych dróg wylotowych z Poznania, Ochrona Środowiska, 32 (3), 43-47.
- [7] Nowakowski T., Podedworna – Łuczak M., Raport o oddziaływaniu na środowisko dróg i autostrad. Poradnik prawno-metodyczny, wyd. Seidel – Przywecki, Warszawa 2009.
- [8] Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych, Dz. U. z 2016 r. poz. 1440, 1920, 1948, 2255, z 2017 r. poz. 191, 1089.
- [9] <http://siskom.waw.pl/nauka-srodowisko.htm#112> (dostęp 05.06.2017 20:12).
- [10] Uzunow E., 2014, Surowce odpadowe jako alternatywa wobec kruszyw naturalnych, Kruszywa Alternatywne, 4, 36-39.
- [11] Machniak Ł., Kozioł W., 2014, Kruszywa alternatywne – baza zasobowa i kierunki wykorzystania w budownictwie, Kruszywa Alternatywne, 4, 28-33.
- [12] Kozioł W., Kawalec P., 2008, Kruszywa alternatywne w budownictwie – Tańsze i przyjaźniejsze dla środowiska, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 4 (19), 34-37.
- [13] Ćwik S., Jaskółta R., 2009, Wykorzystanie odpadów budowlanych grupy 17 z recyklingu, Prace ICiMB, 2 (3), 151-160.
- [14] Smakowski T.J., 2011, Perspektywy rynku kruszyw mineralnych w Polsce, Prace Naukowe Instytutu Górniczego Politechniki Wrocławskiej, Studia i Materiały, 132 (39), 259-276.
- [15] Galos K., 2008, Źródła, produkcja i znaczenie gospodarcze kruszyw sztucznych w Polsce, Prace Naukowe Instytutu Górniczego Politechniki Wrocławskiej, 121, 45-58.
- [16] Ney R., Surowce Mineralne Polski. Surowce Skalne. Kruszywa Mineralne, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2007.
- [17] Hausteine E., 2016, Wpływ popiołu lotnego na stopień wymywania wybranych metali ciężkich z betonu, Materiały Budowlane, 7, 88-90.
- [18] Kalarus D., Baran T., Ostrowski M., 2016, Wpływ składników paliw wtórnych stosowanych do produkcji klinkieru portlandzkiego na wartość emisji metali ciężkich z cementu i betonu, Prace ICiMB, 25, 7-17.
- [19] <http://surowce-kopalnie.pl/aktualnosc/86> (dostęp 11.08.2017 15:20).
- [20] Żak R., Deja J., 2012, Synteza i właściwości produktów hydratacji alkalicznie aktywowanych szkielek glinokrzemianowych, Prace ICiMB, 11, 159-171.
- [21] Król A., 2012, Metody badań i oceny uwalniania metali ciężkich z konstrukcyjnych materiałów budowlanych, Materiały Budowlane, 10, 48-50.
- [22] Poluszyńska J., 2013, Ocena możliwości zanieczyszczenia środowiska glebowo – gruntowego wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA) zawartymi w popiołach lotnych pochodzących z kotłów energetycznych, Prace ICiMB, 12, 60-71.
- [23] Czerniak A., Poszyler-Adamska A., 2006, Ocena immobilizacji metali ciężkich w kompozytach cementowo-gruntowych stosowanych do budowy dróg wiejskich, Acta Sci. Pol., Formatio Circumietus, 5 (1), 29-38.
- [24] Mizera K., Król A., 2016, Znaczenie uwalniania cynku, miedzi i ołowiu z żużla szybkiego w kontekście jego stosowania w drogownictwie, Materiały Budowlane, 10, 55-57.
- [25] Jezierski P., Jagodzik W., 2010, Ocena zagrożenia zanieczyszczenia gruntów ornych metalami ciężkimi w wyniku stosowania żużla pohnitczego do utwardzania dróg polnych, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 42, 158-166.
- [26] Mizerna K., Król A., 2015, The effect of leachant pH on the level of heavy metals release from industrial from industrial waste, Applied mechanic and materials, 797, 408-414.

Hanna Makowska, Izabela Bobowska, Aleksandra Wypych-Puszkarcz

hanna.makowska@dokt.p.lodz.pl, aleksandra.wypych@p.lodz.pl

Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Synteza i modyfikacja nanocząstek TiO_2

Wstęp

Tlenek tytanu(IV) jest najpowszechniejszym i najtrwalszym z tlenków tytanu. Charakteryzuje się wysokimi temperaturami topnienia i wrzenia, a także brakiem rozpuszczalności w wodzie. W naturze występuje w postaci trzech form polimorficznych, jako: rutyl i anatyz o strukturze

tetragonalnej oraz rombowy brukit, które różnią się ułożeniem oktaedrow (rutyl i anatyz) oraz konformacją (brukit) w komórce kryształu [1]. Właściwości chemiczne i fizyczne TiO_2 zależą nie tylko od struktury krystalograficznej, ale również od rozmiaru cząstek. Nanometrowy TiO_2 (N-TiO_2) charakteryzuje: dobra stabilność i odporność chemiczna,



wysoka twardość, podwyższona przenikalność elektryczna (rutyl), niska upływność, hydrofilowość, bezbarwność, aktywność chemiczna, nietoksyczność, wysoki potencjał utleniający, dobrze rozwinięta powierzchnia właściwa, silne zdolności pochłaniania promieniowania ultrafioletowego (UV) oraz wysoka energia powierzchniowa [2]. Głównym z zastosowań makroskopowego TiO_2 jest produkcja tzw. bieli tytanowej wykorzystywanej jako pigment do farb i napelniający w produkcji papieru. Dwutlenek tytanu stosowany jest również w kremach z filtrem przeciwsłonecznym, w których działa jak „bloker” i pochłania niebezpieczne dla człowieka promieniowanie UV. W formie nanometrycznej można go znaleźć również w takich dziedzinach jak biomedycyna (jako substrat do produkcji implantów) czy optoelektronika (do modyfikacji warstwy aktywnej w ogniwach barwnikowych Grätzela oraz wytwarzania cienkiej warstwy antyrefleksyjnej w konwencjonalnych ogniwach krzemowych). Dodatkowo, N-TiO_2 ma zastosowanie fotokatalityczne, gdzie wykorzystywany jest w katalizatorach powodujących degradację zanieczyszczeń środowiska, fotokatalityczny rozkład wody i przemiany tlenków węgla [3]. Nanocząstki TiO_2 stosowane są również w membranach separujących gazy, sensorach wilgoci i powłokach szkieł samoczyszczących i zapobiegających parowaniu. Poprzez wysoką energię powierzchniową nanometrowy dwutlenek tytanu wykazuje silną tendencję do tworzenia aglomeratów. Warto tutaj nadmienić, że w przypadku ceramiki nie jest łatwo odróżnić „aglomerat” od „agregatu”. G. Nichols w swojej publikacji na temat nomenklatury używanej w ceramice proponuje nowe nazewnictwo, w którym aglomerat miękki (ang. soft agglomerate) jest określany jako złączony zbiór cząstek, które można rozdzielić metodami fizycznymi (np. poprzez mechaniczne ucieranie lub sonikację), natomiast aglomerat twardy (ang. hard agglomerate) jest trwałym złączonym zbiorem cząstek, których rozdzielenie jest praktycznie niemożliwe [4]. Istnieje wiele metod wytwarzania dwutlenku tytanu. W zależności od warunków reakcji kontrolowane są takie parametry jak morfologia i struktura. Największy wpływ na te parametry mają mechanizmy nukleacji i wzrostu cząstek, które zależą między innymi od temperatury i ciśnienia otoczenia, użytych substratów, pH, obecności tlenu oraz dostępu światła. Do najbardziej popularnych metod należą synteza zol-żel, metoda hydrotermalna, metoda solwotermalna oraz metoda utleniania anodowego. Stosuje się też metody takie jak: mikrofalowa, szablonoowa, odwróconej mikroemulsji, bezpośredniego utleniania, niehydrolityczna synteza zol-żel, sonochemiczna, chemiczne i fizyczne osadzanie z fazy gazowej, elektroosadzanie oraz syntezy z wykorzystaniem cieczy jonowych [5]. Synteza zol-żel jest prosta, efektywna

i energooszczędna, a jej wymagania temperaturowe nie przekraczają zwykle 200°C , co zapobiega degradacji termicznej składników organicznych kompozytu. Proces ten jest dwuetapowy i obejmuje reakcje hydrolizy i kondensacji, podczas których powstają wiązania między atomami metalu, a grupami hydroksylowymi, a następnie tlenem. W przypadku syntezy TiO_2 , zaczerpniętej z publikacji M.A. Behnajady [6], na bazie której wykonane zostały syntezy zamieszczone w niniejszej pracy, ważny jest również etap nukleacji, podczas którego mieszanina reakcyjna jest przetrzymywana w zaciemnionym miejscu, tak aby proces ten nie zachodził zbyt szybko, a otrzymane cząstki były rozmiarów nanometrycznych. W przypadku nanomateriałów najczęściej spotykanym powodem stosowania modyfikacji jest zmniejszenie ich tendencji do aglomeracji, ułatwienie samoorganizacji lub kontrola właściwości hydrofobowych. Najbardziej popularne związki organiczne stosowane jako modyfikatory to kwasy karboksylowe, tiole, silany, aminy i surfaktanty. Właściwości powstałego (zmodyfikowanego) produktu końcowego zależą od użytych substratów, stopnia ich przereagowania oraz warunków prowadzonej reakcji [7]. Modyfikacji można dokonać in-situ, wówczas modyfikator dodawany jest na etapie prowadzenia syntezy związku lub ex-situ, gdy po skończonej syntezie czysty, gotowy produkt poddaje się działaniu modyfikatora.

Odczynniki chemiczne i metody badawcze

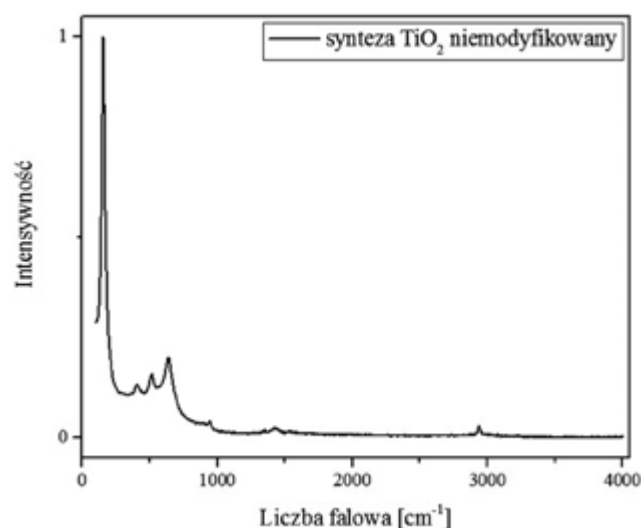
Syntezę N-TiO_2 przeprowadzono metodą zol-żel z wykorzystaniem tetraizopropanolanu tytanu (TIPT) (Sigma-Aldrich) oraz lodowatego kwasu octowego (POCH S.A.). Przeprowadzono modyfikacje powierzchniowe z użyciem małych cząsteczkowych związków organicznych, tj. kwasów pelargonowego (POCH S.A.), laurynowego [8] (SIGMA ALDRICH) i oleinowego [9] (POCH S.A.) oraz dodecyloaminy (SIGMA ALDRICH), które zastosowane były dla poprawy stabilności dyspersji zawiesiny, wzrostu hydrofobowości powierzchni oraz uzyskania wąskiego rozkładu rozmiarów cząstek przy jednoczesnym utrzymaniu właściwości dielektrycznych i rozmiarów cząstek dwutlenku tytanu na stałym poziomie. Tetraizopropanolan tytanu rozpuszczono w lodowatym kwasie octowym i dodano wodę dejonizowaną w celu zapoczątkowania reakcji hydrolizy. Wszystko wykonywano w łaźni lodowej, aby zapewnić kontrolę kinetyki reakcji. Po otrzymaniu jednorodnego roztworu, zol przechowywano w zaciemnionym miejscu ze względu na długi okres zarodkowania. Roztwór następnie umieszczono w suszarce, gdzie zapoczątkowano reakcję kondensacji prowadzącą do powstania żelu. Uzyskany żel suszono w temperaturze 100°C . W poniższych badaniach



przeprowadzano modyfikację in-situ nanocząstek TiO_2 . Do roztworu tetraizopropanolanu tytanu i lodowatego kwasu octowego dodano roztworzony w metanolu modyfikator (tj. odpowiednio kwas pelargonowy, laurynowy, oleinowy i dodecyloaminę), dalszy przebieg reakcji wyglądał tak jak przy tradycyjnej syntezie zol-żel. Otrzymane nanocząstki scharakteryzowano za pomocą spektroskopii Ramana na spektrometrze FT-Ramana (Bruker RamanScope III) z mikroskopem Olympus, który umożliwia rejestrację widm ramanowskich w zakresie od 100 do 3600 cm^{-1} z rozdzielczością 1 cm^{-1} . Wzbudzenia próbek dokonano przy użyciu lasera Nd:YAG (o długości fali emisji 1064 nm oraz mocy wiązki 1000 mW). Pomiary wielkości hydrodynamicznej cząstek przy użyciu metody Dynamicznego Rozpraszania Światła (DLS ang. Dynamic Light Scattering) oraz pomiary potencjału Zeta zostały wykonane za pomocą aparatu Zetasizer nano (Malvern Instruments Ltd.). Pomiary dielektryczne wykonano za pomocą Szerokopasmowej Spektroskopii Dielektrycznej (BDS – Broadband Dielectric Spectroscopy), używając spektroskopu dielektrycznego firmy „Novocontrol”. Dla każdej próbki wykonano również test stabilności oraz pomiar kąta zwilżania, do którego użyto programu AVerTV 6 i ImageJ (wyznaczając linię bazową kropli i jej obrys geometryczny).

Wyniki i dyskusja

1) Spektroskopia ramanowska



Rys. 1. Widmo Ramana niemodyfikowanego TiO_2

Występujące pasma ramanowskie w zakresie $100\text{--}750\text{ cm}^{-1}$ pozwalają zidentyfikować otrzymany produkt jako anatazową formę tlenku tytanu(IV) (zaobserwowano charakterystyczne mody drgań tej odmiany TiO_2 : $150\text{ cm}^{-1}(\text{E}_{\text{g}(1)})$, $400\text{ cm}^{-1}(\text{B}_{1\text{g}})$, $515\text{ cm}^{-1}(\text{A}_{1\text{g}})$, $638\text{ cm}^{-1}(\text{E}_{\text{g}(3)})$ [10]).

Zestawienie widm Ramana dla wszystkich wytworzonych próbek w zakresie $100\text{--}750\text{ cm}^{-1}$ (rys. 2) pozwala potwierdzić zakładaną odmianę polimorficzną dwutlenku tytanu w przypadku każdej próbki – charakterystyczne dla anatazu pasma (rys. 1) pokrywają się z tymi dla zmodyfikowanych próbek.

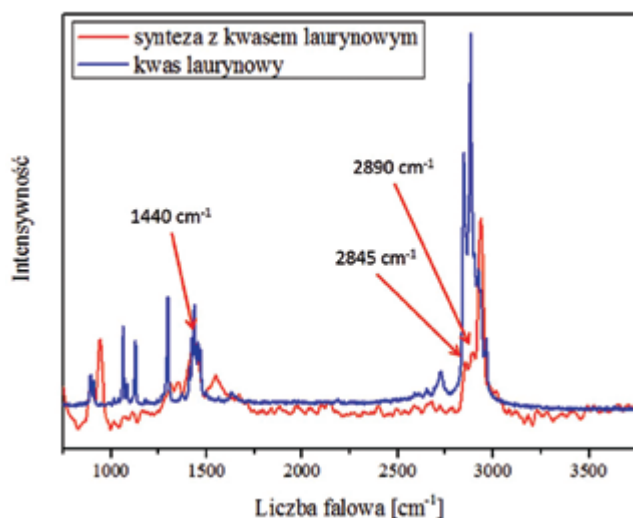
Położenie pasma ramanowskiego przy ok. 150 cm^{-1} wskazuje pośrednio na wielkość ziaren anatazu – im większe ziarna tym mniejsza wartość przesunięcia ramanowskiego [11]. Na podstawie danych zebranych w tabeli 1 można stwierdzić, że próbki modyfikowane za pomocą kwasu oleinowego oraz dodecyloaminy powinny charakteryzować się największymi rozmiarami, natomiast niemodyfikowany TiO_2 oraz modyfikowany za pomocą kwasu laurynowego – najmniejszymi cząstkami. Znajduje to potwierdzenie w otrzymanych wynikach pomiaru wielkości cząstek za pomocą Dynamicznego Rozpraszania Światła opisanych w następnym podrozdziale.

Tabela 1. Zestawienie położenia maksimum pasma ramanowskiego o największej intensywności dla TiO_2 przed i po modyfikacji

synteza	maksimum
niemodyfikowany TiO_2	154 cm^{-1}
TiO_2 z kw. pelargonowym	153 cm^{-1}
TiO_2 z kw. laurynowym	154 cm^{-1}
TiO_2 z kw. oleinowym	151 cm^{-1}
TiO_2 z dodecyloaminą	152 cm^{-1}

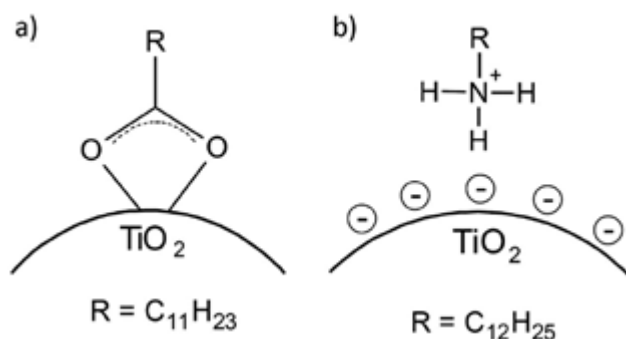
Uzyskane widma czystych modyfikatorów (kwasów i aminy) pokrywają się z widmami opisanymi w literaturze oraz udostępnianymi przez firmę Sigma Aldrich. Na widmie TiO_2 zmodyfikowanego za pomocą kwasu pelargonowego widoczne są pasma przypisywane do drgań --COOH (1440 cm^{-1}), --CH_3 (2900 cm^{-1}) oraz --CH_2 (2950 cm^{-1}). Na widmie dla TiO_2 zmodyfikowanego za pomocą kwasu laurynowego również zaobserwowano pasma charakterystyczne dla drgań --COOH (1440 cm^{-1}), dla drgań --CH_3 (2845 cm^{-1}) i dla drgań --CH_2 (2890 cm^{-1}) (rys. 2). Na widmie dla TiO_2 zmodyfikowanego za pomocą kwasu oleinowego pasma ramanowskie o największej intensywności można przypisać do: drgań --C--C-- (1080 cm^{-1}), drgań deformacyjnych grupy --C--C--H (1259 cm^{-1} i 1305 cm^{-1}), drgań --C=C-- (2850 cm^{-1}) oraz jak w poprzednich przypadkach: drgań --COOH (1440 cm^{-1}), drgań --CH_3 (1654 cm^{-1}) oraz drgań --CH_2 (2900 cm^{-1} i 3008 cm^{-1}). Na widmie uzyskanym dla TiO_2 modyfikowanego dodecyloaminą pasma o największej intensywności można przypisać następująco: drgania grupy --CH_3 (2850 cm^{-1}) oraz drgania grup --CH_2 (2930 cm^{-1}) [12-17].





Rys. 2. Przykładowe widma ramanowskie dla TiO_2 modyfikowanego kwasem laurynowym, gdzie zaznaczone są trzy pasma o największej intensywności

Przeprowadzone badania z wykorzystaniem spektroskopii Ramana pozwalają potwierdzić obecność cząstek modyfikatora w produktach reakcji pochodzących z poszczególnych syntez, trudno jest jednak jednoznacznie określić, jakiego rodzaju oddziaływania (fizyosorpcja czy chemisorpcja) zachodzą pomiędzy cząstkami dwutlenku tytanu a związkami organicznymi. Spośród możliwych połączeń pomiędzy powierzchnią TiO_2 a modyfikatorem można wyróżnić: oddziaływanie elektrostatyczne, wiązanie wodorowe (podwójne i pojedyncze), wiązanie pojedyncze podobne do estrowego oraz różnego typu wiązania koordynacyjne [18]. Najbardziej prawdopodobne połączenia występujące pomiędzy kwasami a powierzchnią dwutlenku tytanu, to wiązania koordynacyjne (rys. 3 a), natomiast najbardziej prawdopodobne połączenie powierzchni tlenku tytanu(IV) z aminą to oddziaływanie elektrostatyczne (rys. 3 b).



Rys. 3. Proponowane połączenie kwasu laurynowego (a) oraz dodecyloaminy (b) z powierzchnią TiO_2 [7]

2) Dynamiczne Rozpraszanie Światła (DLS) i Potencjał Zeta

Pomiary wykonano na wodnych zawiesinach w rozcieńczeniu $1/10 \text{ mg ml}^{-1}$. Dla każdej próbki wykonano 3 pomiary odpowiednio po 3, 6 i 10 minutach od momentu wstawienia kuwety z zawiesiną do aparatu. Każda próbka przed pomiarem została poddana sonikacji w celu rozbicia ewentualnych aglomeratów. Wyniki średnich rozmiarów hydrodynamicznych cząstek (d_h) otrzymane za pomocą metody Dynamicznego Rozpraszania Światła (tabela 2) pokrywają się z wynikami otrzymanymi ze spektroskopii Ramana. Największe cząstki, tak jak zakładano, mają próbki modyfikowane kwasem oleinowym oraz dodecyloaminą ($d_h \approx 220 \text{ nm}$), a najmniejsze cząstki uzyskano dla kwasu laurynowego (ok. 80 nm). Spodziewano się, że równie małe cząstki powinna mieć także próbka niemodyfikowana, natomiast według pomiarów DLS jej średni rozmiar hydrodynamiczny to ok. 200 nm . Ta różnica wynika z dużej energii powierzchniowej N-TiO_2 , który niemodyfikowany w dużym stopniu aglomeruje. Mimo wcześniejszego poddania próbki działaniom ultradźwięków, badanie DLS nie wychwyciło cząstek mniejszych niż 120 nm . Zaś aglomeracja zachodziła tak intensywnie w czasie, że uniemożliwiła zarejestrowanie rzeczywistego rozmiaru cząstek.

Tabela 2. Zestawienie uzyskanych wyników DLS i Potencjału Zeta

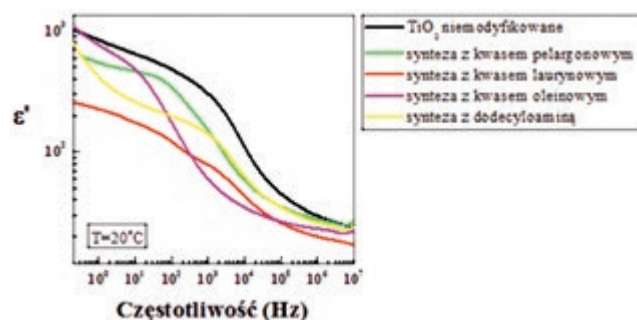
synteza	$\bar{d}_h [\text{nm}]$	$\bar{Z} [\text{mV}]$
niemodyfikowany TiO_2	200	37
TiO_2 z kw. pelargonowym	120	40
TiO_2 z kw. laurynowym	80	55
TiO_2 z kw. oleinowym	220	30
TiO_2 z dodecyloaminą	220	37

Przyjmuje się, że jeśli wartość bezwzględna potencjału Zeta jest większa od 30 mV to zawiesina jest stabilna i nie sedimentuje. Podczas badania potencjału Zeta wykonano test pH używając uniwersalnych papierków wskaźnikowych. Wartość potencjału Zeta jest silnie zależna od pH roztworu. Dla próbki niemodyfikowanej oraz modyfikowanej za pomocą kwasu laurynowego wyniki mogły zostać nieco zawyżone ze względu na delikatnie niższe pH w porównaniu do pozostałych mierzonych próbek. Mimo to średnie wartości potencjału Zeta ($\bar{Z}$) wskazują na większą stabilność zawiesin sporządzonych z modyfikowanych nanocząstek TiO_2 – szczególnie tych modyfikowanych za pomocą kwasu pelargonowego i laurynowego.

3) Szerokopasmowa Spektroskopia Dielektryczna (BDS)
Z każdej próbki wykonano pastylkę o średnicy $d = 13 \text{ mm}$, która prasowana była pod ciężarem 13000 funtów



przez 10 minut (pod ciśnieniem = 435,9 MPa). Dla każdej próbki obliczono gęstość pozorną, która wynosiła średnio 2,2 g/cm³, co stanowi 55% teoretycznej wartości gęstości anatazu (według bazy krystalograficznej, kod referencyjny: 00-004-0477).



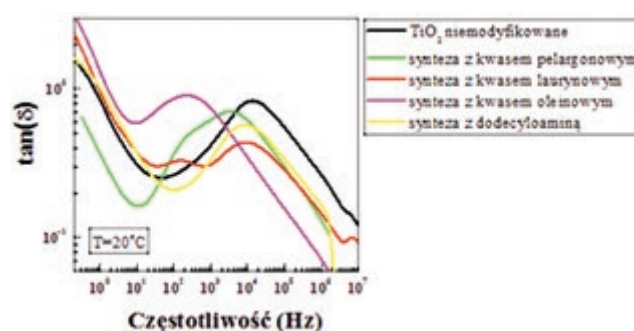
Rys. 4. Zestawienie wartości ϵ' (rzeczywista część przenikalności elektrycznej) dla badanych próbek TiO_2 w zakresie częstotliwości 10^1 - 10^7 Hz

Dla wszystkich badanych układów wystąpił wzrost rejestrowanego sygnału przenikalności elektrycznej (ϵ') ze zmniejszającą się częstotliwością. Fakt ten może wynikać z mechanizmu polaryzacji międzyfazowej, która ma miejsce, gdy badany układ nie jest strukturalnie homogeniczny. W przypadku modyfikowanego TiO_2 można założyć powstanie układu rdzeń-otoczka, gdzie rdzeniem jest cząstka anatazu, a otoczką znajdujący się na jej powierzchni kwas bądź amina użyta w reakcji, natomiast w przypadku niemodyfikowanego TiO_2 niejednorodność struktury może być związana z porowatością sporządzonej pastylki, bądź też z niejednorodnościami na granicy stykających się ziaren. Dla próbek ceramicznych wartości przenikalności elektrycznej określa się dla częstotliwości radiowych (tj. zakres 3 kHz ÷ 300 GHz), przy czym bardzo często mierzy się je i definiuje dla częstotliwości 1 GHz. Z uwagi na zastosowaną głowicę pomiarową największą częstotliwością, przy której rejestrowany był sygnał obarczony małym błędem pomiarowym, był 1 MHz. Wartości przenikalności elektrycznej dla badanych związków, zmierzone przy częstotliwości 1 MHz zostały zestawione w tabeli poniżej.

Tabela 3. Zestawienie wartości ϵ' dla N-TiO_2 przed i po modyfikacji przy częstotliwości 10^6 Hz

synteza	ϵ' dla 10^6 Hz
niemodyfikowany TiO_2	30
TiO_2 z kw. pelargonowym	28
TiO_2 z kw. laurynowym	20
TiO_2 z kw. oleinowym	23
TiO_2 z dodecyloaminą	26

W przypadku wszystkich modyfikowanych cząstek TiO_2 przenikalność elektryczna była niższa niż dla pastylki sporządzonej z TiO_2 niemodyfikowanego ($\epsilon' = 30$). Modyfikacja z wykorzystaniem kwasu pelargonowego dostarczyła związek o najwyższej przenikalności elektrycznej ($\epsilon' = 28$), podczas gdy najniższy ϵ' prezentował anataz modyfikowany kwasem laurynowym. Biorąc pod uwagę, że mierzone modyfikowane próbki potraktujemy jako kondensator złożony z części organicznej i nieorganicznej, można wywnioskować, że mniejsza wartość przenikalności elektrycznej odnotowana w tym przypadku jest spowodowana obecnością organicznych modyfikatorów na powierzchni anatazu. Związki organiczne mają zwykle przenikalność elektryczną mniejszą niż 10, podczas gdy przenikalność elektryczna anatazu oscyluje około wartości 48 [19]. Identyczna gęstość pozorna w przypadku wszystkich badanych próbek wyklucza ten parametr jako czynnik powodujący wyżej wspomniane zmiany przenikalności elektrycznej.



Rys. 5. Zestawienie wartości $\tan(\delta)$ (tangensa kłta strat) dla badanych próbek N-TiO_2 w zakresie częstotliwości 10^1 - 10^7 Hz

Straty dielektryczne są podobnego rzędu dla wszystkich przebadanych próbek. Maksima widoczne na wykresie $\tan(\delta)$ oraz ich różne położenie na osi częstotliwości mogą wynikać z wielkości molekuł/dipoli, których ruchy są obserwowane – zakładając, że sygnał pochodzi od części organicznej modyfikowanego TiO_2 (otoczki). Podwójne maksima zaobserwowane dla kilku próbek, mogą świadczyć o obecności cząsteczek modyfikatora przyłączonego do powierzchni dwutlenku tytanu i w postaci wolnej (niezwiązanej). Warto jednak zaznaczyć, że niemodyfikowany materiał ceramiczny również wykazuje straty dielektryczne podobnego rzędu, np. poprzez rozproszenia energii na granicy ziaren, z których wykonana jest pastylka. Właściwości dielektryczne próbek ceramicznych są dodatkowo zależne od takich czynników jak PDI (indeks polidispersyjności rozmiaru cząstek) czy gęstość pozorna próbki.



4) Test stabilności

Do pomiaru stabilności próbek wykorzystano wodne zawiesiny zsyntezowanych produktów w stężeniu 1 mg ml^{-1} . Przed rozpoczęciem testu, próbki poddano sonikacji w celu rozbicia ewentualnych aglomeratów. Zauważono, że od razu po wyjęciu ich z ultradźwięków, próbki z zawiesiną niemodyfikowanego tlenku tytanu(IV) i modyfikowanego za pomocą kwasu oleinowego zaczęły intensywnie sedymentować. próbki modyfikowane za pomocą dodecyloaminy oraz kwasu pelargonowego wykazywały najlepszą stabilność przez pierwsze kilka minut pomiaru (brak widocznych zmian w kolorze próbki oraz osadu na dnie naczynia). Po 17 godzinach pomiaru wszystkie próbki w pewnym stopniu zsedymetowały. próbki, które wykazały się najmniejszą stabilnością już na początku testu, tj. TiO_2 niemodyfikowany oraz modyfikowany za pomocą kwasu oleinowego, zsedymetowały prawie całkowicie tworząc transparentne roztwory. próbka TiO_2 modyfikowana za pomocą kwasu pelargonowego wykazała największą stabilność ze wszystkich badanych próbek. Sedymentacja była prawie niezauważalna, natomiast w całej objętości buteleczki nadal widoczny był intensywnie mleczny kolor, świadczący o dobrze zdy-spergowanej zawieszynie.

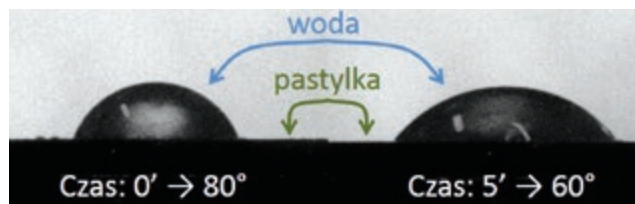


Rys. 6. Zdjęcie badanych zawiesin TiO_2 po czasie 17 godzin (1 – niemodyfikowany TiO_2 , 2 – TiO_2 modyfikowany kw. pelargonowym, 3 – TiO_2 modyfikowany kw. laurynowym, 4 – TiO_2 modyfikowany kw. oleinowym i 5 – TiO_2 modyfikowany dodecyloaminą)

5) Pomiary kąta zwilżania

Do wykonania pomiarów kąta zwilżania użyto próbek w postaci pastylek (prasowanych w takich samych warunkach jak w przypadku pomiarów BDS). Kąt zwilżania na pastylce z niemodyfikowanego TiO_2 od razu po naniesieniu kropli wody wyniósł 30° , a już po kilku sekundach można było zauważyć jak kropla rozlewa się i zwilża powierzchnię pastylki. Pastylka z próbki zmodyfikowanej kwasem pelargonowym wykazała najwyższy kąt zwilżania, który w chwili naniesienia kropli wyniósł 80° . Kropla nie rozlewała się po powierzchni pastylki, a po czasie 5 minut kąt zwilżania

zmniejszył się tylko o 20° . Wyniki pozostałych pomiarów opisane zostały w tabeli 4.



Rys. 7. Zdjęcia kropli na powierzchni pastylki TiO_2 modyfikowanego kwasem pelargonowym ilustrujące zmianę kąta zwilżania w czasie

Tabela 4. Zestawienie wyników zmiany kąta zwilżania w czasie dla wszystkich próbek

Synteza	kąt zwilżania	
	0'	po 5'
niemodyfikowany TiO_2	30°	0°
TiO_2 z kw. pelargonowym	80°	60°
TiO_2 z kw. laurynowym	60°	45°
TiO_2 z kw. oleinowym	50°	30°
TiO_2 z dodecyloaminą	50°	25°

Wnioski

W niniejszej pracy wykonano syntezy nanocząstek dwutlenku tytanu metodą zol-żel. Podczas każdego procesu do mieszaniny reakcyjnej dodawane były różne organiczne związki niskocząsteczkowe w celu modyfikacji cząstek TiO_2 już na etapie ich powstawania (in-situ). Przeprowadzone badania miały na celu: zmniejszenie tendencji cząstek TiO_2 do tworzenia aglomeratów, zwiększenie ich stabilności w roztworze, hydrofobizację ich powierzchni oraz określenie wpływu użytego modyfikatora na właściwości dielektryczne powstałego dwutlenku tytanu. Badanymi modyfikatorami były kwasy: pelargonowy, laurynowy i oleinowy oraz dodecyloamina.

W wyniku przeprowadzonych syntez otrzymano dwutlenek tytanu w postaci anatazu, co wykazano za pomocą spektroskopii ramanowskiej. Pomiary z użyciem tej samej techniki potwierdziły również obecność badanych modyfikatorów w produktach otrzymanych z przeprowadzonych syntez. Zastosowane związki organiczne prawdopodobnie modyfikują powierzchnię dwutlenku tytanu łącząc się z nią koordynacyjnie (w przypadku badanych kwasów) lub poprzez oddziaływania elektrostatyczne (jak w przypadku zastosowanej aminy). Za pomocą Dynamicznego Rozpraszania



Światła potwierdzono, że zsyntezowany tlenek tytanu(IV) jest nanomateriałem, co precyzuje przytoczona poniżej definicja według zalecenia Komisji Europejskiej 2011/696/UE: „Nanomateriał oznacza naturalny, powstały przypadkowo lub wytworzony materiał zawierający cząstki w stanie swobodnym lub w formie agregatu bądź aglomeratu, w którym co najmniej 50% lub więcej cząstek w liczbowym rozkładzie wielkości cząstek ma jeden lub więcej wymiarów w zakresie 1nm-100nm” [20]. Analiza sporządzonych roztworów koloidalnych zawierających zmodyfikowane nanocząstki TiO_2 wykazała ich lepszą stabilność w porównaniu z cząstkami niemodyfikowanymi, co wykazano poprzez przeprowadzony test stabilności i co sugerowały wykonane pomiary potencjału Zeta. O przemianie hydrofilowych właściwości powierzchni TiO_2 w bardziej hydrofobowe świadczą pomiary kątów zwilżania – wszystkie modyfikowane nanocząstki TiO_2 wykazują znacznie większy kąt zwilżania niż nanocząstki niemodyfikowane. Badanie właściwości dielektrycznych modyfikowanych nanocząstek tlenku tytanu wykazały nieznaczny spadek wartości przenikalności elektrycznej, w porównaniu do próbki niemodyfikowanej oraz straty dielektryczne podobnego rzędu.

Porównując zastosowane związki małowymiarowe można stwierdzić, że kwas oleinowy nie sprawdza się w roli modyfikatora powierzchni N- TiO_2 . W zakresie przeprowadzanych badań i określanych właściwości wypadł on najsłabiej spośród testowanych modyfikatorów. Kwas pelargonowy natomiast okazał się bardzo dobrym modyfikatorem. W grupie przebadanych związków modyfikujących powierzchnię okazał się być najlepszym związkiem hydrofobizującym powierzchnię dwutlenku tytanu i gwarantującym stabilność cząstek w roztworze oraz najmniej zmieniającym właściwości dielektryczne TiO_2 . Jeżeli kryterium właściwości dielektrycznych modyfikowanej ceramiki nie byłoby najważniejszym parametrem, to dobrym modyfikatorem wydaje się być również kwas laurynowy, który gwarantuje najmniejsze rozmiary zsyntetyzowanych cząstek, znaczną poprawę stabilności sporządzonej z nich zawiesiny i hydrofobowość powierzchni tlenku tytanu.

Literatura

- [1] Zhu T., Gao S.P., 2014, The stability, Electronic Structure and Optical Property of TiO_2 Polymorphs, *The Journal of Physical Chemistry C*, 21 (118), 11385-11396.
- [2] Diebold U., 2003, The surface science of titanium dioxide, *Surface Science Reports*, 5-8 (48), 53-229.
- [3] Meca K., Właściwości powierzchniowe i fotokatalityczne TiO_2 , CdS, WO_3 oraz ich nanokompozytów, Uniwersytet Gdański, Gdańsk 2014.
- [4] Nichols G., Byard S., Bloxham M. J., Botterill J., Dawson N. J., Dennis A., Diart V., North N. C., Sherwood J. D., 2002, A Review of the Terms Agglomerate and Aggregate with a Recommendation for Nomenclature Used in Powder and Particle Characterization, *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 10 (91), 2103 – 2109.
- [5] Wang Y., He Y., Lai Q., Fan M., 2014, Review of the progress in preparing nano TiO_2 : An important environmental engineering material, *Journal of Environmental Sciences*, 11 (26), 2139-2177.
- [6] Behnajady M.A., Eskandarloo H., Modirshahla N., Shokri M., 2011, Sol-Gel Low temperature Synthesis of Stable Anatase-type TiO_2 Nanoparticles Under Different Conditions and its Photocatalytic Activity, *Photochemistry and Photobiology*, 5 (87), 1002-1008.
- [7] Raza M., Bachinger A., Zahn N., Kickelbick G., 2014, Interaction and UV-Stability of Various Organic Capping Agent on the Surface of Anatase Nanoparticles, *Materials*, 4 (7), 2890-2912.
- [8] Sarkar A., Ghosh A.K., Mahapatra S., 2012, Lauric acid triggered in situ surface modification and phase selectivity of calcium carbonate its application as an oil sorbent, *Journal of Materials Chemistry*, 22, 11113-11120.
- [9] Wang C., Piao C., Zhai X., Hickman F.N., Li J., 2010, Synthesis and character of super-hydrophobic CaCO_3 powder in situ, *Powder Technology*, 1-2 (200), 84-86.
- [10] Chen X., Mao S.S., 2007, Titanium dioxide nanomaterials: synthesis, properties, modifications and applications, *Chemical Reviews*, 7 (107), 2891-2959.
- [11] Thorpe M.F., Mitkova M.I., Amorphous isolators and semiconductors, NATO Advanced Study Institute, Sozopol, Bulgaria 1996.
- [12] <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/nonanoicacid>.
- [13] <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/lauricacid>
- [14] Amorim da Costa A.M., 1986, Carbon – hydrogen stretching Raman modes and lateral interaction in n-dodecyl compounds, *Revista Portuguesa de Quimica*, 28, 71-76.
- [15] <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/oleicacid>.
- [16] Misra R.M., Jain A., Tandon P., Wartewig S., Gupta V.D., 2006, Normal mode analysis of γ form of oleic acid, *Chemistry and Physics of Lipids*, 1-2 (142), 70-83.
- [17] <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/substance/dodecylamine>.
- [18] Qu Q., Geng H., Peng R., Cui Q., Gu X., Li F., Wang M., 2010, Chemically Binding Carboxylic Acids onto TiO_2 Nanoparticles with Adjustable Coverage by Solvothermal Strategy, *Langmuir*, 12 (26), 9539-9546.
- [19] Harris L. A., 1980, A Titanium Dioxide Hydrogen Detector, *Journal of the Electrochemical Society*, 12 (127), 2657-2662.
- [20] Jurewicz M., Nanotechnologia Regulacje Prawne Legislacja Unii Europejskiej, Difin, Warszawa 2014.



Magdalena Majewska
174841@edu.p.lodz.pl

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Badania wpływu temperatury na skład produktów utleniania kwasu trichlorooctowego z udziałem katalizatora rodowego

Wstęp

Unieszkodliwianie lotnych związków chloroorganicznych oraz ciekłych odpadów przemysłowych zawierających różne substancje z tej grupy, przy braku możliwości ich recyklingu jest realizowane w Polsce metodą spalania w temperaturze około 1350°C. W procesie zapewnia się czas reakcji 2-3 s i inne, szczególne warunki technologiczne, zwłaszcza intensywne rozpylenie substratu przed spaleniem w piecu wtryskowym oraz szybkie schładzanie spalin [1-4]. Warunki te mają na celu zapewnienie całkowitego utlenienia odpadowych substratów, ale także uniknięcie powstawania i emisji toksycznych związków, takich jak tlenek węgla, aldehydy czy polichlorowane dibenzo-p-dioksyny i polichlorowane dibenzofurany (PCDD/Fs) [2-7].

Alternatywą dla spalania wysokotemperaturowego jest utlenianie katalityczne, skuteczne przy utylizacji związków organicznych powstających w różnych przemianach przemysłowych, w tym także zawierających w cząsteczkach atomy chloru. Proces ten polega na zastosowaniu katalizatora, dzięki któremu możliwe jest nawet trzykrotne obniżenie stosowanej temperatury reakcji z wartości 1350°C, najczęściej do zakresu 400-500°C [4, 8-19]. Wskazują na to rezultaty badań uzyskane w różnych ośrodkach naukowych, w tym liczne wcześniejsze doświadczenia wykonywane w Instytucie Chemii Ogólnej i Ekologicznej Politechniki Łódzkiej (IChOiE PŁ) [7, 10, 11, 13-18, 20-22]. Wskazują na to również wyniki mojej pracy inżynierskiej [23]. Istotnym jest, aby proces destrukcji i utlenienia substratu następował praktycznie całkowicie, tj. był nie mniejszy od 99,5%.

Katalizatory kontaktowego utlenienia heterogenicznego to substancje stałe, ziarniste lub monolityczne, które przyspieszają kinetykę reakcji utleniania poprzez obniżenie energii aktywacji zachodzącego procesu. Możliwe jest to poprzez zmianę drogi reakcji, dzięki oddziaływaniu centrów aktywnych na powierzchni kontaktu z substratem i tworzeniu kompleksu aktywnego. Katalizator obecny

w układzie reagującym nie zużywa się i nie jest brany pod uwagę w równaniu stechiometrycznym reakcji. W wielu ośrodkach naukowych wykonywane są badania, m. in. nad preparatyką i właściwościami monolitycznych katalizatorów zawierających metale szlachetne [12-17, 19-25]. Kontakty te charakteryzują się zwykle dużą aktywnością w reakcjach utleniania związków organicznych i tlenku węgla, stabilnością, odpornością na dezaktywację i powstawanie depozytu węglowego. Katalizatory zawierające platynę i/lub pallad, a także dodatek rodu są stosowane do dopalania toksycznych składników spalin samochodowych [12-14, 19, 21-25]. Rod w wielu kompozytach katalitycznych pełni rolę składnika zapobiegającego powstawaniu tlenków azotu [14, 19].

Kwas trichlorooctowy w laboratorium i syntezie organicznej

Przedmiotem badań był roztwór wodny kwasu trichlorooctowego (TCA, łac. *acidum trichloroaceticum*), związku o wzorze sumarycznym $C_2H_2Cl_3O_2$ – trichloropochodnej kwasu octowego należącej do grupy kwasów chlorooctowych. Związek ten podobnie jak i pozostałe kwasy chlorooctowe wykazuje wysoce niebezpieczne właściwości względem człowieka i innych organizmów żywych, podczas oddziaływania inhalacyjnego oraz w środowisku wodnym [23, 26, 27]. Ważniejsze właściwości fizykochemiczne TCA zebrano w tabeli 1, natomiast porównanie wybranych danych tego związku z kwasem octowym i pozostałymi kwasami chlorooctowymi na łamach Eliksiru przedstawiły Staniaszek i Stępień [27].

Kwas TCA stosuje się w wielu dziedzinach gospodarki, a zwłaszcza:

- w laboratorium:
 - do procesów mineralizacji i odbiałczania,
 - jako produkt pośredni w syntezach organicznych i nieorganicznych,



Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne kwasu TCA [23, 26]

Właściwość lub cecha TCA	Charakterystyka właściwości
Forma	Ciało stałe
Kolor	Bezbarwny
Zapach	Ostry
Ciężar cząsteczkowy	163,39 g/mol
Temperatura topnienia	54-58°C
Temperatura wrzenia	197°C > rozkład
Temperatura zapłonu	>110°C
Gęstość	1,63 g/cm ³
Ciśnienie par	1 hPa (20°C)
Rozpuszczalność w wodzie	1600 g/l (20°C)
Dobra rozpuszczalność w wybranych chemikaliach	Aceton, metanol, etanol, o-ksylen, eter dietylowy
Oddziaływanie na człowieka	Drażniący i żrący względem skóry oraz błon śluzowych, powoduje oparzenia i uszkodzenia wzroku

- jako ligand w związkach kompleksowych wybranych metali ciężkich [28] oraz lantanowców [29];
- w przemyśle jako:
 - środek żrący podczas powierzchniowej obróbki metali,
 - rozpuszczalnik wyrobów o strukturze plastików,
 - dodatek polepszający właściwości wysokociśnieniowe smarów mineralnych;
- w rolnictwie sól sodową tego kwasu jako selektywny herbicyd;
- w medycynie jako środek ściągający i antyseptyczny;
- w analityce medycznej do odbiałczania krwi lub surowicy przed oznaczaniem glukozy;
- w dermatologii i kosmetyce jako peeling chemiczny, który niweluje zmarszczki, zaburzenia pigmentacyjne i blizny po trądziku. Przydatny jest także do usuwania tatuaży [23, 26, 27].

Odczynniki i metody badawcze

Celem doświadczeń było zbadanie aktywności rodowego katalizatora monolitycznego w reakcji utleniania kwasu TCA. Badano wpływ temperatury w zakresie 250-550°C na proces utleniania roztworu substratu o stężeniu 50 g/l w wodzie, dozowanym do odparownika ze średnim natężeniem masowym około 28 g/h. Stosowano objętościowy przepływ powietrza 280 l/h i czas kontaktu 0,36 s. Katalizator był uprzednio spreparowany metodą impregnacji mokrej z zamiarem sprawdzenia jego aktywności w reakcjach utleniania wybranych organicznych związków chloru (wodzianu chloralu i kwasów chlorooctowych),

które występują jako składniki ciekłych odpadów przemysłowych. Stosowany w badaniach monolit był walcem o średnicy 21 mm i długości 90 mm. Miał on szkielet wykonany z kordierytu ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) charakteryzujący się gęstością cel – 600 cel/cal² (cps), pokryty warstwą pośrednią (*washcoat*) z naniesionym rodem w ilości 1,0% [30]. Katalizator przed pracą był aktywowany parą wodną i powietrzem w temperaturze 500°C w okresie 4 h. Proces termokatalitycznego utleniania kwasu TCA realizowano metodą ciągłą w każdej temperaturze co najmniej dwukrotnie, w rezultacie czego otrzymywano próby kondensatu wodnego oraz schłodzonych gazów spalinowych, które poddawano analizie [23]. W kondensacie m. in. oznaczano: stężenie jonów chlorkowych (C_{Cl^-}) metodą miareczkowania argentometrycznego, stężenie formaldehydu (C_{f}) metodą kolorymetryczną z chlorowodorkiem fenylhydrazyny i ogólnego węgla organicznego (OWO_{g}) za pomocą analizatora TOC 5050A firmy Shimadzu [21, 23]. W spalinach oznaczano stężenia następujących produktów reakcji: chloru (C_{chloru}) metodą kolorymetryczną z modyfikacją stosowaną w Instytucie Chemii Ogólnej i Ekologicznej, formaldehydu (C_{f}) metodą kolorymetryczną z zastosowaniem chlorowodorku fenylhydrazyny [21, 23], tlenku węgla (C_{CO}) i tlenu (C_{tlen}) za pomocą automatycznego analizatora gazów firmy Madur GA-20. Doświadczenia były realizowane w aparaturze służącej do badań procesów termokatalitycznego utleniania związków chloroorganicznych zamieszczonej, m. in. w pracy inżynierskiej [23] oraz w publikacji [10].



Wyniki i dyskusja

Rezultaty dotyczące aktywności próby badanego katalizatora monolitycznego w procesie utleniania par kwasu TCA w fazie gazowej, w zakresie temperatury 250-550°C zamieszczono w tabeli 2 (analiza kondensatu) oraz w tabeli 3 (analiza spalin).

Tabela 2. Wyniki średnie analizy kondensatów zebranych podczas katalitycznego utleniania kwasu TCA o stężeniu 50 g/l

T [°C]	OWO _k [mgC/l]	X _{owo} [%]	C _f ^k [mg/l]	C _{Cl} ⁻ [g/l]
250	188,95	98,50	34,78	27,0
275	128,60	98,98	75,44	25,9
300	79,78	99,37	52,48	25,6
325	33,00	99,74	19,14	25,8
350	11,58	99,91	1,97	27,8
375	11,54	99,91	1,36	27,8
400	9,67	99,92	0,0	29,6
450	11,90	99,91	0,0	30,6
475	6,56	99,95	0,0	28,7
500	4,30	99,97	0,0	30,0
525	3,42	99,97	0,0	29,7
550	4,07	99,97	0,0	32,9

Tabela 3. Wyniki średnie analizy spalin pobranych podczas katalitycznego utleniania kwasu TCA o stężeniu 50 g/l

T [°C]	C _{chloru} [mg/m ³]	C _f ^s [mg/m ³]	C _{CO} [ppm]	C _{tlenku} [%]
250	–	1,72	485	20,9
275	0,82	2,98	380	20,9
300	1,75	2,08	325	20,9
325	1,23	1,12	171	20,9
350	1,45	0,0	70,5	20,9
375	2,23	0,0	23,3	20,9
400	7,76	0,0	21,3	20,9
450	86,6	0,0	4,75	20,9
475	122	0,0	1,50	20,9
500	694	0,0	0,25	20,9
525	809	0,0	0,00	20,9
550	900	0,0	0,00	20,9

Wyniki analizy kondensatu zamieszczono w tabeli 2. Badania wykazały, że temperatura ma istotny wpływ na wartość OWO kondensatu oraz stopień utlenienia tego wskaźnika (X_{owo}), obliczony względem roztworu substratu o stężeniu 50 g/l oraz średnim początkowym OWO_o (7154 mgC/l), dozowanego do odparowalnika. Stężenie wlotowe kwasu TCA w fazie gazowej wynosiło około 4000 mg/m³, uzyskiwane w wyniku odparowywania roztworu wodnego tego

związku. Wartość stopnia utlenienia substratu już w temperaturze 350°C przekroczyła aż 99,90% i wzrosła do 99,97% w temperaturze 500°C i wyższych.

Stężenie formaldehydu – jednego z produktów pośrednich reakcji, odbieranego w zasadniczej części wraz z kondensatem, było maksymalne w temperaturze 275°C zarówno w tym medium (75,44 mg/l), jak i w spalinach (2,98 mg/m³), po czym obniżało się do zera już w temperaturze 400°C. W tabeli 2 zamieszczono także stężenie jonów chlorkowych w zebranych kondensatach. Proces całkowitego odchlórowania substratu następował już poniżej temperatury 250°C, na co wskazuje w przybliżeniu stałe stężenie tych jonów w kondensacie w badanym zakresie temperatury.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki oznaczania tlenu węgla (ppm) i tlenu (mg/m³), otrzymane w badanym procesie. Podczas utleniania kwasu TCA w obecności testowanej porcji katalizatora stężenie tlenu węgla znacząco malało wraz ze wzrostem temperatury pieca reakcyjnego. Najwyższą wartość stężenia CO w spalinach, tj. 485 ppm stwierdzono w temperaturze 250°C oraz tylko 4,75 ppm w 450°C, natomiast w temperaturze powyżej 525°C tlenu węgla już nie wykryto. Z kolei stężenie tlenu było w przybliżeniu stałe – 20,9%, bowiem ubytek tego pierwiastka ze względu na istniejący nadmiar powietrza był zbyt mały, aby mógł być zarejestrowany za pomocą analizatora spalin Madur GA-20.

Wnioski

Wykonane badania pozwoliły na wyciągnięcie poniższych wniosków.

Monolityczny katalizator zawierający 1% Rh skutecznie utleniał agresywny kwas TCA, dozowany jako model ścieku zawierającego 50 g/l tego związku w wodzie.

W procesie utleniania substratu m. in. powstawały: chlorowodór odbierany jako roztwór wodny kwasu solnego, para wodna, formaldehyd, tlenek i ditlenek węgla oraz chlor.

Wraz ze wzrostem temperatury powyżej 275°C zmniejszało się stężenie organicznych produktów pośrednich reakcji, tj. składników OWO, formaldehydu, a także tlenu węgla.

Stwierdzono wzrost stężenia chloru w spalinach wraz ze wzrostem temperatury utleniania TCA, zwłaszcza powyżej wartości 450°C. Z kolei stężenie jonów chlorkowych w kondensacie było w zakresie 26,6-32,9 g/l, ale wykazywało tendencję nieznacznego wzrostu wraz z podwyższaniem temperatury badanego procesu.

Najkorzystniejsze wyniki w utlenianiu kwasu TCA otrzymano w zakresie temperatury 400-450°C – zapewniającej przereagowanie węgla z substratu w ponad 99,9% oraz śladową emisję produktów niepełnego utleniania, natomiast w wyższej temperaturze istotnie zwiększało się stężenie



chloru w spalinach, co oprócz zagrożenia dla środowiska może pogorszyć aktywność katalizatora w dłuższym przedziale czasowym.

Metoda termokatalitycznego utleniania po uprzednich, pomyślnych testach w skali powiększonej, może pozwolić na korzystne ekonomicznie unieszkodliwianie ciekłych odpadów chloroorganicznych, m. in. w dużych zakładach syntezy organicznej, jak np. Anwil S.A. (Włocławek) czy PCC Rokita S.A. (Brzeg Dolny).

Literatura

- [1] Przondo J., Rogala J., 1996, Przemysłowa instalacja spalania ciekłych odpadów chloroorganicznych w Z. Ch. „Rokita” S.A., *Przem. Chem.*, 75(3), 98-101.
- [2] Chudzik M., Żarczyński A., 2002, Źródła związków chloroorganicznych zanieczyszczających środowisko, *Aura*, 1, 4-7.
- [3] Lewandowski G., Milchert E., Doroczyński A., 2005, Spalanie odpadów chloroorganicznych z odzyskiem chlorowodoru, *Przem. Chem.*, 84(7), 516-519.
- [4] Żarczyński A., Stopczyk A., Zaborowski M., Gorzka Z., Kaźmierczak M., 2010, Możliwość usuwania związków chloroorganicznych ze ścieków przemysłowych ze szczególnym uwzględnieniem metody termokatalitycznego utleniania, *Ochr. Środ.*, 34(1), 49-54.
- [5] Milchert E., Technologie produkcji chloroorganicznych. Utylizacja odpadów, Wyd. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1997.
- [6] Makles Z., Świątkowski A., Grybowska S., Niebezpieczne dioksyny, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2001.
- [7] Żarczyński A., Gorzka Z., Kaźmierczak M., Misiak M., 2002, Emisja dioksyn z procesów termicznych i jej przeciwdziałanie, *Przem. Chem.*, 81(9), 596-601.
- [8] Agarwal S. K., Spivey J.J., Butt J.B., 1992, Catalyst deactivation during deep oxidation of chlorohydrocarbons, *Appl. Catal., A: General*, 82(2), 259-275.
- [9] Musialik-Piotrowska A., Mendyka B., 2004, Catalytic oxidation of chlorinated hydrocarbons in two-component mixtures with selected VOCs, *Catal. Today*, 90, 139-144.
- [10] Żarczyński A., Kaźmierczak M., Gorzka Z., Zaborowski M., 2005, Dioksyny w procesie utleniania 1,1,2,2-tetrachloroetanu w obecności wybranych katalizatorów, *Chem. Inż. Ekol.*, (12)S1, 113-122.
- [11] Zaborowski M., Kaźmierczak M., Gorzka Z., Żarczyński A., 2006, Unieszkodliwianie chlorohydryny propylenowej metodami termicznymi, *Przem. Chem.*, 85(8-9), 1092-1094.
- [12] Finocchio E., Busca G., Notaro M., 2006, A review of catalytic processes for the destruction of PCDD and PCDF from waste gases, *Appl. Catal. B: Environmental*, 62, 12-20.
- [13] Żarczyński A., Zaborowski M., Paryczak T., Gorzka Z., Kaźmierczak M., 2007, Application of catalysts in treatment of selected waste chloroorganic compounds, *Pol. J. Chem. Tech.*, 9(2), 61-64.
- [14] Żarczyński A., Gorzka Z., Zaborowski M., Kaźmierczak M., Ciesielski R., 2009, Utlenianie mieszaniny aceton-woda (1:5) zawierającej kwas 2,4-dichlorofenoksyoctowy z udziałem katalizatora monolitycznego platynowo-rodowego, *Ecol. Chem. Eng. S*, 16(S1), 107-113.
- [15] Gorzka M., Żarczyński A., Paryczak T., Kaźmierczak M., Zaborowski M., 2009, Całkowite utlenianie katalityczne lotnych chloroorganicznych występujących w ciekłych odpadach przemysłowych z syntezy organicznej, *Rocz. Ochr. Środ.*, 11, 439-448.
- [16] Żarczyński A., Kaźmierczak M., Zaborowski M., Gorzka Z., Paryczak T., Ramadas D., 2010, Optymalizacja parametrów katalitycznego utleniania dichlorohydryny propylenowej. Wpływ temperatury i stężenia, *Przem. Chem.*, 89(8), 1092-1096.
- [17] Gorzka Z., Żarczyński A., Zaborowski M., Paryczak T., Kaźmierczak M., 2011, Utlenianie związków chloroorganicznych występujących w ciekłych odpadach przemysłowych w obecności katalizatora palladowego, *Rocz. Ochr. Środ.*, 13, 557-570.
- [18] Żarczyński A., Zaborowski M., Gorzka Z., Kaźmierczak M., 2013, Utilization of light ends of chloroorganic wastes from PVC production with application of ferric-chromic catalyst – dioxins hazard, *Ecol. Chem. Eng. S*, 20(1), 109-116.
- [19] Murzin D. Yu., Engineering Catalysis, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston 2013.
- [20] Żarczyński A., Zaborowski M., Kaźmierczak M., Maj K., 2017, Porównanie aktywności katalizatora żelazowo-chromowego z palladowym w procesie utleniania wodoru chloralu, *Przem. Chem.*, 96(5), 1075-1079.
- [21] Lenc A., 2015, Kontrola aktywności katalizatora o nośniku z węgliku krzemu, *Eliksir*, 2, 9-12.
- [22] Szykowska M., Wojciechowska E., Węglińska A., Paryczak T., 2008, Katalizatory stosowane w reakcji utleniania związków złoconych, *Przem. Chem.*, 87(8), 834-843.
- [23] Majewska M., 2018, Badania parametrów wpływających na skład produktów utleniania kwasu trichlorooctowego z udziałem katalizatora rodowego, Praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Łódzka, IChOIe, Łódź.
- [24] Paryczak T., Lewicki A., Zaborski M., Zielona chemia, PAN, Oddział w Łodzi, Łódź 2005.
- [25] Wołowicz A., 2013, Zastosowanie palladu i jego związków ze szczególnym uwzględnieniem katalizy, *Przem. Chem.*, 92(7), 1237-1245.
- [26] Jankowska A., Bystry K., Czerczak S., 2011, Kwas trichlorooctowy. Dokumentacja dopuszczalnych wielkości narażenia zawodowego, *Podst. Met. Oceny Środ. Pracy*, 3(69), 133-154.
- [27] Staniaszek M., Stępień A., 2016, Kwasy chlorooctowe jako interesujące ligandy, *Eliksir*, 1(3), 9-10.
- [28] Czyłkowska A., Raducka A., Mierczyński P., 2017, Synthesis, thermal study and some properties of Zn(II), Cd(II) and Pb(II) compounds with mono-, di- and trichloroacetates, *J. Therm. Anal. Calorim.*, 128(2), 937-946.
- [29] Czyłkowska A., 2012, New complexes of heavy lanthanides with 4,4'-bipyridine and trichloroacetates: Synthesis, thermal and other properties, *J. Therm. Anal. Calorim.*, 110(3), 1299-1308.
- [30] Żarczyński A., Bojarska J., Maniukiewicz W., Ratajczyk P., Zaborowski M., Szykowska M. I., Mierczyński P., Kaźmierczak M., Ciesielski R., Kędziora A., Badania katalizatorów rodowych metodą XRD & SEM-EDS, 57 Konferencja Krystalograficzna, Wrocław, 24-26 VI 2015 r., B-5, 194-195, Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu oraz Komitet Krystalografii PAN, <http://www.intibs.pl/kk2017/archiwum/57KK2015book.pdf>, 03.11.2017.



Kinga Wieczorek

kinga.wieczorek@dokt.p.lodz.pl

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Blaski i cienie polskiej energetyki (nie)konwencjonalnej.

Część II

Elektrownia Bełchatów

Największą i jednocześnie najmłodszą elektrownią w Polsce bazującą na spalaniu węgla brunatnego jest wchodząca w skład Polskiej Grupy Energetycznej Elektrownia Bełchatów. W skali światowej jest ona drugą co do wielkości elektrownią węglową oraz największą elektrownią spalającą węgiel brunatny [1].

Charakterystyka

Roczna produkcja energii elektrycznej przez Elektrownię Bełchatów wynosi średnio 34 TWh, co stanowi około 22% energii, która jest dostarczana w ciągu roku do krajowej sieci energetycznej. Od początku działalności w Elektrowni zostało wyprodukowanych ponad 868 TWh energii elektrycznej [2]. Dodatkowo Elektrownia Bełchatów posiada około 58% udziału w produkcji energii elektrycznej powstającej w naszym kraju w oparciu o spalanie węgla brunatnego [3].

Elektrownia Bełchatów jest położona w gminie Kleszczów na obszarze powiatu bełchatowskiego, w województwie łódzkim. Początki powstania Elektrowni Bełchatów sięgają roku 1960, kiedy w okolicach wsi Piaski odkryto pokłady węgla brunatnego. Następnie w 1971 roku został przyjęty przez Radę Techniczną Ministerstwa Górnictwa i Energetyki plan budowy kombinatu górniczo-energetycznego w rejonie Bełchatowa. Budowę Elektrowni rozpoczęto w 1975 roku na mocy uchwały Rady Ministrów dotyczącej planów powstania Zespołu Górniczo-Energetycznego Bełchatów. Po zakończeniu budowy Elektrowni pierwszy blok energetyczny został zsynchronizowany z Krajową Siecią Energetyczną 29 grudnia 1981 roku. Synchronizacja kolejnych bloków energetycznych trwała do roku 1988, kiedy to w dniu 12 października został oddany do eksploatacji ostatni blok nr 12. Początkowo każdy blok energetyczny posiadał moc zainstalowaną 360 MW, a całkowita moc Elektrowni wynosiła wówczas 4320 MW. W efekcie trwającego w latach 1997–2005 programu modernizacyjnego nastąpił wzrost mocy

każdego bloku energetycznego o 10 MW oraz zmniejszenie jednostkowego zużycia paliwa na każdym z nich o około 3%. Tym samym doszło do zwiększenia zainstalowanej i osiągalnej mocy Elektrowni do 4440 MW [2,3].



Fot.1. Elektrownia Bełchatów [4]

Obecnie Elektrownia Bełchatów składa się z 13 bloków energetycznych, których łączna moc to około 19% mocy zainstalowanej w polskich elektrowniach zawodowych. Wszystkie bloki Elektrowni Bełchatów są wyposażone w wysokosprawne elektrofiltry oraz budowane w latach 1996–2012 Instalacje Odsiarczania Spalin (IOS). W 12 blokach energetycznych moc zainstalowana wynosi od 370 do 390 MW, natomiast blok nr 13, który został uruchomiony w 2011 roku, posiada moc zainstalowaną 858 MW. Po zakończonej w lutym 2016 roku modernizacji bloku nr 9, łączna moc zainstalowana Elektrowni wzrosła do 5298 MW, natomiast całkowita moc osiągalna do 5342 MW. W ramach programu rekonstrukcji bloków 3–12, który miał miejsce w latach 2007 – 2016, przeprowadzono również modernizację bloku nr 10, czego efektem jest podwyższenie całkowitej mocy osiągalnej Elektrowni do 5460 MW. Docelowo planowane było również unieruchomienie bloków nr 1 i 2, jednak finalnie wykonano remont bloku nr 2, co pozwoliło



na wzrost mocy osiągalnej Elektrowni do poziomu 5472 MW. Kompleksowy Program Rekonstrukcji i Modernizacji Bloków, oprócz zwiększenia mocy Elektrowni, pozwolił też na przedłużenie żywotności bloków energetycznych i dostosowanie ich do spełnienia nowych wymagań środowiskowych, które zaczęły obowiązywać na początku 2016 roku [2,3,5-7].

Eksploracja węgla brunatnego

Do produkcji energii elektrycznej Elektrownia Bełchatów wykorzystuje węgiel brunatny wydobywany w Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów. W ciągu roku Elektrownia spala około 42 mln ton węgla, a od początku swojej działalności zużyła już ponad 1080 mld ton węgla brunatnego [2].

Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów jest największą kopalnią odkrywkową węgla brunatnego w Polsce. Ilość eksploatowanego w ciągu jednego roku węgla (w ostatnich latach wydobywa się średnio 40–42 mln ton rocznie) stanowi około 60% rocznego wydobycia węgla brunatnego w Polsce [8,9]. Węgiel wydobywany w Kopalni Bełchatów to najtańsze paliwo energetyczne w naszym kraju, a KWB Bełchatów jest niezmiennie największym producentem węgla brunatnego na polskim rynku energetycznym [7,10].

Powstanie Kopalni Bełchatów zapoczątkowało odkrycie w 1960 roku w regionie bełchatowskim pokładów węgla brunatnego. Prowadzone następnie przez blisko 15 lat badania potwierdziły występowanie oraz znaczącą pod względem przemysłowym zasobność pokładów węgla brunatnego na tym obszarze. W 1975 roku rozpoczęto odwadnianie złoża oraz instalację koparki nadkładowej. W roku 1977 rozpoczęło się zdejmowanie nadkładu, natomiast pierwsze tony węgla w KWB Bełchatów zostały wydobyte w 1980 roku [5,8].



Rys. 1. Położenie złóż węgla brunatnego KWB Bełchatów [11]

KWB Bełchatów składa się z trzech pól górniczych (rys. 1):

- Pole Bełchatów – pole środkowe o długości 12 km, które

znajduje się między uskokiem rzeki Widawki, a wysadem solnym Dębina,

- Pole Szczerców – pole zachodnie położone na zachód od wysadu solnego Dębina,
- Pole Kamięńsk – pole wschodnie o długości 13 km leżące po wschodniej stronie uskoku Widawki [11].

Obecnie węgiel w Kopalni Bełchatów jest pozyskiwany z Pola Bełchatów (fot. 2) i Pola Szczerców. Geologiczne zasoby bilansowe Pola Kamięńsk są oceniane na 130 mln ton, jednak nie jest ono eksploatowane ze względu na brak zasobów o charakterze przemysłowym. W strategii rozwoju Kopalni przewidywane jest natomiast uruchomienie odkrywki ze złoża Złoczew [8,11,12].

Pole Bełchatów jest eksploatowane od początku istnienia Kopalni. Znajduje się bezpośrednio przy Elektrowni, a jego powierzchnia wynosi około 3200 ha. Pole Bełchatów jest największym złożem węgla brunatnego w Polsce. Znajduje się w nim około 60% całkowitych zasobów zagłębia bełchatowskiego. Zasoby bilansowe Pola Bełchatów są szacowane na około 136 mln ton, z czego około 92 mln ton to zasoby przemysłowe. W 2014 roku wydobycie węgla z Pola Bełchatów wyniosło 26,64 mln ton, co stanowiło 41,6% krajowego wydobycia węgla brunatnego [8,11,13].



Fot. 2. Odkrywka Bełchatów w 2016 roku (fot. S. Góralczyk)

Od 2009 roku KWB Bełchatów pozyskuje również węgiel z Pola Szczerców. Znajduje się ono na zachód od Elektrowni, na obszarze powiatu bełchatowskiego i pajęczańskiego. Zajmuje obszar o szerokości 2,2 km i długości 8,5 km, a docelowa powierzchnia wyrobiska ma wynieść około 2360 ha. Zasoby przemysłowe złoża Szczerców są oceniane na 720 mln ton. W ciągu pierwszych trzech lat od rozpoczęcia eksploatacji Pola Szczerców zostało wydobytych 28,5 mln ton węgla, natomiast w roku 2014 wydobycie z tego złoża ukształtowało się na poziomie 15,76 mln ton, zatem stanowiło 24,64% krajowego wydobycia węgla brunatnego [8,13-15].



Aktualnie Kopalnia Węgla Brunatnego *Bełchatów* posiada koncesję na pozyskiwanie węgla z Pola *Bełchatów* i Pola *Szczerców*, jednak przy utrzymaniu wydobywania na poziomie 35–42 mln ton rocznie zasoby odkrywki *Bełchatów* zostaną wyczerpane do 2019 roku, natomiast odkrywki *Szczerców* do 2038 roku [5,16].

Optymalnym rozwiązaniem, które pozwoliłoby wydłużyć czas działania Kopalni i Elektrowni *Bełchatów* jest zagospodarowanie perspektywicznego złoża *Złoczew*, które zostało uwzględnione w *Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju do 2030 roku*. Znajduje się ono około 40 km od Elektrowni, na obszarze powiatu sieradzkiego i wieluńskiego. Jest to złożo satelitarne o długości około 10 km i szerokości 1,5 km, a jego zasoby przemysłowe ocenia się na 486 mln ton węgla. Obecnie są prowadzone prace badawczo-rozpoznawcze tego złoża, na które Kopalnia uzyskała pozwolenie Ministerstwa Środowiska w 2010 roku. Planowana eksploatacja złoża *Złoczew* zabezpieczyłaby funkcjonowanie Elektrowni *Bełchatów* od roku 2031 do roku 2055 [5,16,8].

Składowiska odpadów paleniskowych

Obecnie Elektrownia *Bełchatów* wytwarza rocznie ponad 4 mln ton odpadów paleniskowych. Ilość powstających odpadów zależy od jakości oraz ilości spalane go węgla. Na początku funkcjonowania Elektrowni w ciągu roku powstawało około 3,4 mln ton odpadów. W okresie modernizacji bloków energetycznych w latach 2004–2009 ilość powstających rocznie odpadów paleniskowych utrzymywała się na poziomie 2,8–3,1 mln ton. Po 2009 roku nastąpiło zwiększenie ilości wytwarzanych odpadów związane ze

wzrostem zapopielenia węgla pochodzącego ze złoża *Szczerców*. Odpady powstające w wyniku spalania węgla w Elektrowni są magazynowane na dwóch składowiskach odpadów paleniskowych: *Bagno Lubień* oraz na zwałowisku wewnętrznym KWB *Bełchatów* (rys. 2) [17].

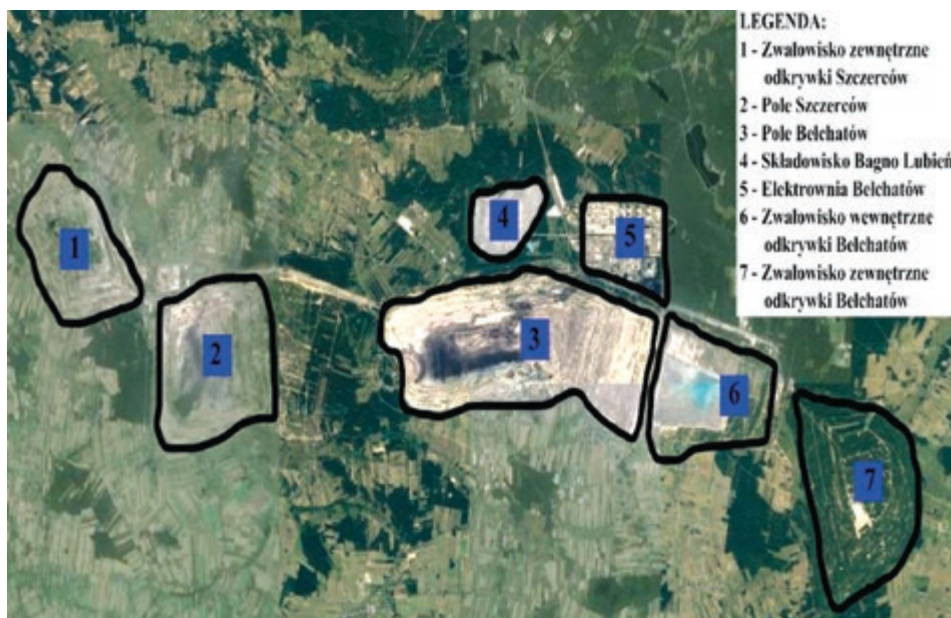
Składowisko *Bagno Lubień* znajduje się około 3 km od Elektrowni, w dorzeczu rzeki *Widawki* (fot. 3). Od trzech stron oraz częściowo od strony wschodniej jest otoczone terenami leśnymi, natomiast najbliższe obszary zabudowane są położone około 1,5 km od składowiska, w miejscowości *Rogowiec*. Powierzchnia składowiska wynosi 416 ha, zaś całkowita pojemność to 122 mln m³, przy czym do końca 2000 roku wykorzystano już 74,5 mln m³ [17,19].

Składowisko *Bagno Lubień* jest eksploatowane od początku funkcjonowania Elektrowni. Na przestrzeni lat ilość deponowanych tam rocznie odpadów zmalała z poziomu 4,1 mln ton w 1988 roku do 0,9 mln ton w roku 2003. Do 1992 roku na składowisku *Bagno Lubień* magazynowano wszystkie odpady paleniskowe powstające w Elektrowni, jednak od 1993 roku składowany jest tam głównie żużel, natomiast popiół jest transportowany na to składowisko jedynie w przypadku niekorzystnych warunków pogodowych, które ograniczają możliwość magazynowania na zwałowisku wewnętrznym. Łącznie na składowisko *Bagno Lubień* trafia 30% wszystkich odpadów paleniskowych powstających w Elektrowni. Z prognoz wynika, że eksploatacja składowiska będzie możliwa do około 2030 roku [17,20].

Bagno Lubień jest składowiskiem mokrym, nadpoziomym, składającym się z czterech nieuszczelnionych pól. Eksploatacja składowiska przebiega w trzech etapach: zapełniania, osuszania oraz podnoszenia obwałowań.

Popioły i żużle są transportowane z Elektrowni za pomocą hydraulicznego układu odpopielenia i odżużlania, który pracuje w zamkniętym obiegu wodnym. Odpady są najpierw przenoszone kanałami do pompowni bagrowych, skąd w postaci pulpy trafiają rurowciągami na składowisko, gdzie ulegają procesowi sedymentacji, natomiast woda nadosadowa jest zwracana do obiegu [17,19].

Składowisko odpadów na zwałowisku wewnętrznym KWB *Bełchatów* funkcjonuje od 1993 roku. Znajduje się we



Rys. 2. Lokalizacja składowisk odpadów paleniskowych Elektrowni *Bełchatów* [18]



Fot. 3. Składowisko Bagno Lubień (fot. A. Turek)

wschodniej części Pola Bełchatów. Jest to składowisko suche, na którym magazynuje się popiół razem z nadkładem kopalnianym. Składowisko pracuje w układzie odpielania pneumatycznego, a popiół jest dostarczany przenośnikami taśmowymi. Łącznie trafia tam 70% wszystkich odpadów paleniskowych wytwarzanych w Elektrowni. Od początku eksploatacji do 2000 roku zdeponowanych zostało na tym składowisku 12,9 mln m³ popiołów, zaś dalsze składowanie będzie możliwe przez cały czas trwania eksploatacji Pola Bełchatów [17,19].

Oba składowiska odpadów paleniskowych podlegają ciągłemu monitoringowi oddziaływania na środowisko. Wykonuje się badania m.in. opadu pyłu, stanu wód podziemnych i powierzchniowych oraz właściwości deponowanych popiołów i żużli. Dodatkowo podejmowane są działania w kierunku zniwelowania negatywnego wpływu składowisk na środowisko. Jedną z takich inwestycji dotyczy zmiany technologii składowania popiołu na składowisku *Bagno Lubień*. Rozpoczęto ją w 2013 roku, a jej celem jest budowa instalacji wytwarzającej i transportującej na składowisko suspensję (mieszanie popiołu i wody w proporcji 1:1), która po związaniu stworzy warstwę ograniczającą pylenie [17,20].

Literatura

- [1] Forbes, <http://www.forbes.pl/najwieksze-elektrownie-swiatek,160941,1,1,12.html>, 11.10.2017.
- [2] PGE GiEK S.A. Oddział Elektrownia Bełchatów, <https://elbelchatow.pgegiel.pl/>, 11.10.2017.
- [3] PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A., <https://pgegiel.pl/Nasze-oddzialy/Elektrownie/Elektrownia-Bełchatow>, 11.10.2017.
- [4] Instal Lublin, <http://www.instal.com.pl/index.php?id=16>, 11.10.2017.

[5] Kasztelewicz Z., Uwarunkowania wydobycia węgla brunatnego i produkcji energii elektrycznej w Polsce i Europie, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2008.

[6] Wirtualny Nowy Przemysł–Portal gospodarczy. Energetyka, http://energetyka.wnp.pl/moc-osiagalna-elektrowni-belchatow-wzroslo-do-5420-mw,256606_1_0_0.html, 11.10.2017.

[7] PGE Giganty Mocy, <http://giganty-mocy.pl/sponsor>, 11.10.2017.

[8] PGE GiEK S.A. Oddział Kopalnia Węgla Brunatnego Bełchatów, <https://www.kwbelchatow.pgegiel.pl/>, 11.10.2017.

[9] Pietraszewski A., 2015, Polskie górnictwo węgla brunatnego w 2014 roku, Węgiel brunatny, 1 (90), 4–14.

[10] Żuk S., 2010, Analiza wyników produkcyjnych polskiej branży węgla brunatnego za lata 2005–2009 oraz przegląd obecnej sytuacji w górnictwie węgla brunatnego krajów Unii Europejskiej, Górnictwo i Geoinżynieria, 4 (34), 547–563.

[11] Stolecki L., Wpływ sposobów składowania odpadów paleniskowych w wyrobisku końcowym odkrywkę Bełchatów na środowisko wodne, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2005.

[12] Martyniak R., Sołtyk W., 2009, Zmiany chemizmu wód podziemnych zachodzące na skutek odwadniania złoża węgla brunatnego Bełchatów, Górnictwo i Geoinżynieria, 2 (33), 307–316.

[13] Szuflicki M., Malon A., Tymiński M., Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2015.

[14] Kozioł W., Sośniak E., 2011, Technologia udostępniania i eksploatacji węgla w Polu Szczerców, Górnictwo i Geoinżynieria, 3 (35), 181–192.

[15] Kasztelewicz Z., Kozioł K., Klich J., 2007, Rekultywacja terenów poeksploatacyjnych w kopalniach węgla brunatnego w Polsce, Górnictwo i Geoinżynieria, 2 (31), 295–307.

[16] Tajduś A., Czaja P., Kasztelewicz Z., 2010, Stan obecny i strategia rozwoju branży węgla brunatnego w I połowie XXI wieku w Polsce, Górnictwo i Geologia, 5 (3), 137–167.

[17] Kaczmarek A., Olech J., Fuzowski K., Plan Gospodarki Odpadami dla Gminy Kleszczów na lata 2004–2015 – Załącznik: Gospodarka odpadami i składowiskami odpadów Elektrowni Bełchatów S. A., Kleszczów 2004.

[18] Geofinder, <http://web4you.com.pl/geofinder.php>, 30.06.2016.

[19] Krzaklewski W., Pietrzykowski M., Frukacz T., Charakterystyka PEW i pH odpadów paleniskowych z Elektrowni Bełchatów zdeponowanych na składowisku Lubień, Mat. Symp., Warsztaty 2005 z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie, Kraków, 145–156.

[20] Odpowiedź PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S. A. Oddział Elektrownia Bełchatów na pismo Wójta Gminy Szczerców z dnia 30.06.2014 r. w sprawie uciążliwości dla mieszkańców Gminy Szczerców powodowanych działalnością Oddziału Elektrownia Bełchatów, Rogowiec 2014.



Andrzej Żarczyński

andrzej.zarczyński@p.lodz.pl

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Sukcesy prac dyplomowych absolwentów Wydziału Chemicznego PŁ w konkursach SITPChem

Wprowadzenie

Organizatorem Konkursu na najlepszą pracę dyplomową z obszaru chemii dla absolwentów wyższych uczelni jest Zarząd Główny Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego (nazywany dalej ZG SITPChem). Konkurs jest realizowany w dwóch etapach, z których pierwszy odbywa się na poziomie Oddziałów Regionalnych SITPChem, natomiast drugi – na poziomie ogólnopolskim. Celem konkursu jest wyeksponowanie wybranych cech prac inżynierskich i magisterskich obronionych w roku ogłoszenia konkursu, jakimi są pomysłowość ujęcia tematu, stopień trudności i solidność wykonanych badań, jakość opracowania wyników oraz możliwość ich praktycznego wykorzystania, zwłaszcza w przemyśle [1]. Oznacza to preferowanie przez Organizatorów rozwiązań dotyczących chemii stosowanej.

Prace na Konkurs muszą być składane wraz z kartą zgłoszenia oraz potwierdzonymi kopiami recenzji i opinii w biurze danego Zarządu Oddziału SITPChem – zwykle do końca grudnia każdego roku. Oceny prac dyplomowych w pierwszym etapie dokonują Komisje Konkursowe składające się z przedstawicieli SITPChem i uczelni, którym przewodniczy Prezes Zarządu Oddziału lub jego pełnomocnik. Prace dyplomowe laureatów dwóch pierwszych miejsc są kwalifikowane do etapu drugiego, realizowanego na poziomie ogólnopolskim i przekazywane do ZG SITPChem w terminie do końca stycznia roku następnego. Dla dokonania oceny prac dyplomowych w drugim etapie – ogólnopolskim – Prezydium ZG SITPChem powołuje Komisję Konkursową i jej Przewodniczącą. W skład Komisji wchodzi specjalista reprezentujący różne dyscypliny nauk chemicznych. Komisja Konkursowa przekazuje do Prezydium ZG SITPChem wyniki konkursu. Ich ogłoszenie na poziomie ogólnopolskim dokonywane jest zwykle na Zjeździe SITPChem i publikowane w czasopiśmie chemicznym [1]. Autorom dwóch najlepszych prac dyplomowych uczestniczących w Konkursie na

poziomie Oddziałów SITPChem przyznawane są nagrody finansowe, natomiast dyplomy uznania wyróżnionym laureatom. Z kolei na poziomie ogólnopolskim dyplomy uznania otrzymują autorzy zwycięskich i wyróżnionych prac dyplomowych.

Organizacja konkursów przez Oddział Łódzki SITPChem

Od 2009 r. ważną, ale i wywołującą emocje wśród absolwentów i ich promotorów, częścią pracy Zarządu Oddziału Łódzkiego SITPChem są corocznie organizowane Konkursy na najlepszą pracę dyplomową uczelni łódzkich w zakresie chemii w danym roku akademickim, jako etap pierwszy rywalizacji ogólnopolskiej. Rosnąca w ostatnich latach liczba uczestników Konkursu wskazuje, iż cieszy się on coraz większą popularnością, szczególnie na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej (WCh PŁ). Od początku rywalizacji konkursowej szczególnie duży udział w tym przedsięwzięciu ma inż. Jerzy Leo – wiceprezes Zarządu Łódzkiego Oddziału SITPChem i sekretarz Komisji Konkursowej, który aktywnie propaguje Konkurs, a także stara się zainteresować dyplomantów i pracowników Politechniki Łódzkiej działalnością Stowarzyszenia. Wymiernym efektem tych zabiegów jest bieżąca współpraca nauczycieli akademickich, doktorantów i absolwentów Wydziału Chemicznego PŁ z Oddziałem Łódzkim SITPChem, a niektórych także akces do jego struktury.

W latach 2010-2014 prace dyplomowe były oceniane przez stałą Komisję Konkursową powołaną przez Zarząd Oddziału na początku kadencji w 2010 r. w składzie: mgr inż. Eugeniusz Kulczycki – przewodniczący Komisji oraz prezes Zarządu Łódzkiego Oddziału SITPChem, a także członkowie: prof. dr hab. inż. Tadeusz Paryczak, prof. dr hab. inż. Henryk Bem oraz mgr inż. Zbigniew Olszewski (zm. w listopadzie 2016 r.). Komisja oceniając prace dyplomowe opierała się na wytycznych Regulaminu Konkursu zatwierdzonego przez Prezydium ZG SITPChem w dniu 8 listopada 2010 r. [1, 2].



Konkurs na najlepszą pracę dyplomową z obszaru chemii jest kontynuowany. W 2017 r. Oddział Łódzki SITPChem zakończył już przyjmowanie prac dyplomowych.

Łódzkie i ogólnopolskie sukcesy prac dyplomowych absolwentów WCh PŁ

Jesienią 2009 r. do pierwszej edycji Konkursu Zarządu Oddziału Łódzkiego SITPChem zgłoszono cztery prace, z których dwie pochodziły z Politechniki Łódzkiej, jedna z Uniwersytetu Łódzkiego i jedna z Uniwersytetu im. Jana Kochanowskiego w Kielcach. Miejsce I uzyskała praca mgr inż. Agnieszki Adamus – *Wytwarzanie biodegradowalnych implantów przeznaczonych do regeneracji nerwów obwodowych* (promotor: prof. dr hab. inż. Janusz M. Rosiak, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej PŁ). Ta sama praca uzyskała I miejsce w Konkursie ogólnopolskim.

W 2010 r. w Konkursie Zarządu Oddziału Łódzkiego zgłoszono dwie prace dyplomowe z Wydziału Chemicznego PŁ. Pierwsze miejsce uzyskała mgr inż. Inga Relich – *Glikozylowanie peptydów* (promotor: dr inż. Beata Kolesińska, Instytut Chemii Organicznej PŁ), natomiast II miejsce mgr inż. Rafał Anyszka – *Trudnopalne materiały elastomerowe z udziałem cieczy jonowych* (promotor: dr hab. Dariusz Bieliński, Instytut Technologii Polimerów i Barwników PŁ). Obie prace zostały zakwalifikowane do etapu ogólnopolskiego Konkursu, ale tam nie znalazły się wśród laureatów [3].

W Konkursie Zarządu Oddziału Łódzkiego rozpoczętym w 2011 r. wygrała praca mgr inż. Marty Marcinek – *Zastosowanie metody TOF-SIMS w identyfikacji śladów powystrzałowych GSR dla celów kryminalistycznych* (promotor: dr hab. inż. Małgorzata Szykowska, prof. PŁ, Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej PŁ). Praca ta uzyskała III miejsce w Konkursie Ogólnopolskim Zarządu SITPChem.

W rywalizacji konkursowej rozpoczętej w 2012 r. I miejsce uzyskała mgr inż. Kamila Maj – *Oznaczenie zawartości dioksyn w spalinach podczas katalitycznego utleniania wodzianu chloralu* (promotor: dr inż. Andrzej Żarczyński, Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej PŁ), II miejsce mgr inż. Joanna Kloc – *Barwniki jako znaczniki na nadtlenek wodoru* (promotor: dr inż. Radosław Podsiadły, Instytut Polimerów i Barwników PŁ), natomiast III miejsce mgr inż. Piotr Jaśkiewicz – *Synteza i zastosowania syntetyczne 3-dietoksyfosforylo-4-H-benzo [4,5] tiazolo-[3,2- α] pirymidyn-4-onów* (promotor: prof. dr hab. inż. Tomasz Janecki, Instytut Chemii Organicznej PŁ). Wszystkie trzy prace zostały nagrodzone przez Zarząd Oddziału, natomiast dwie pierwsze zostały zakwalifikowane do Konkursu ogólnopolskiego, w którym praca autorstwa Kamili Maj zajęła III miejsce *ex equo* z Wojciechem Bogaczem z Wydziału Chemicznego

Politechniki Śląskiej – *Opracowanie koncepcji i algorytmu projektowego hybrydowego odpylacza z wypełnieniem komórkowym*, napisaną pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Jana Hehlmana [4].

W Konkursie ogłoszonym jesienią 2013 r. zwyciężyły *ex equo* prace autorstwa mgr inż. Karoliny Pudłowskiej – *Ocena aktywności katalizatora monolitycznego w reakcji utleniania wybranego organicznego związku chloru* (promotor: dr inż. Andrzej Żarczyński) i mgr inż. Anny Marii Grzyb – *Model decyzyjny AHP do planowania struktury odnawialnych źródeł energii na przykładzie województwa łódzkiego* (promotor: dr inż. Marek Kaźmierczak, Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej PŁ). Wyżej wymienione prace Zarząd Oddziału zakwalifikował do etapu ogólnopolskiego, gdzie miejsce drugie zajęła praca Anny Marii Grzyb, a trzecie – Karoliny Pudłowskiej [2, 5]. Wręczenie dyplomów i wyróżnień odbyło się w listopadzie 2014 r. podczas dorocznej konferencji SITPChem „Przemysł chemiczny – wyzwania i bariery” w Ustroniu-Jaszowcu [5, 6].

W Konkursie ogłoszonym w 2014 r. zwyciężyły prace inżynierskie – I miejsce zajęła inż. Aleksandra Matusiak – *Zastosowanie metody TOF-SIMS do analizy wybranych substancji odurzających* (promotor: dr hab. inż. Małgorzata Iwona Szykowska, prof. PŁ) i II miejsce inż. Małgorzata Latos – *Kontrola analityczna otrzymywania gazu do syntezy z przemysłowych chloroorganicznych produktów odpadowych* (promotor: dr inż. Marek Kaźmierczak), które następnie zakwalifikowano do Konkursu ogólnopolskiego. Przyznano także dwa wyróżnienia: inż. Magdalenie Koziróg – *Oznaczenie stężenia saponin w burakach cukrowych podczas ich składowania w cukrowni w Dobrzelinie* (promotor: – dr hab. inż. Izabela Witońska, prof. PŁ, Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej PŁ) oraz mgr inż. Monice Świerskiej – *Oznaczenie i unieszkodliwianie produktów ubocznych w reakcji katalitycznego utleniania kwasu monochlorooctowego* (promotor: dr inż. A. Żarczyński). W Konkursie ogólnopolskim SITPChem III miejsce uzyskała praca Aleksandry Matusiak *ex equo* z pracą Agnieszki Wojtkiewicz z Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej – *Związki kompleksowe jonów metali zawierające aktywny składnik preparatów termogennych: L-argininę. Synteza i charakterystyka fizykochemiczna*, napisaną pod kierunkiem dr inż. Agnieszki Wojciechowskiej [7].

W rywalizacji konkursowej rozpoczętej w 2015 r. I miejsce uzyskała praca mgr inż. Aleksandry Matusiak – *Ocena właściwości i składu chemicznego hydrożeli chitozanowych modyfikowanych dodatkiem srebra* (promotor: prof. dr hab. inż. Małgorzata Iwona Szykowska), a II miejsce mgr inż. Małgorzaty Leśniewicz – *Biodegradowalne kompozyty*



polimerowe na bazie polilaktydu z kauczukiem naturalnym (promotor: prof. dr hab. inż. Marian Zaborski, Instytut Technologii Polimerów i Barwników PŁ). Z kolei wyróżnienia uzyskały prace mgr inż. Małgorzaty Latos – *Proekologiczne materiały elastomerowe o kontrolowanym czasie starzenia* (promotor: prof. dr hab. inż. Marian Zaborski) i mgr inż. Klaudii Galant – *Enancjoselektywna synteza 1,4-dipodstawionych 3-metylideno-3,4-dihydrochinolin-2(1H)-onów* (promotor: prof. dr hab. inż. Tomasz Janecki). W Konkursie ogólnopolskim ZG SITPChem miejsca – I przyznano pracy Aleksandry Matusiak, a II – Małgorzaty Leśniewicz.

Na Konkurs ogłoszony jesienią 2016 r. zgłoszono 9 prac dyplomowych, z których laureatami zostały prace magisterskie. I miejsce zajęła praca mgr inż. Anny Stępień – *Opracowanie ekologicznych płynów do instalacji solarnych na bazie biokomponentów* (promotor – dr hab. inż. Izabela Witońska, prof. PŁ). II miejsce równorzędne przypadło w udziale: mgr inż. Paulinie Ratajczyk – *Zastosowanie monolitycznego katalizatora rodowego do całkowitego utleniania kwasów monochlorooctowego i dichlorooctowego* oraz mgr inż. Tomaszowi Smolarkowi – *Analiza pozostałości metabolitów amitrazy i wybranych pestycydów w próbach miodu* (promotor obydwu prac: dr inż. Andrzej Żarczyński). Wyróżnienie uzyskała praca mgr inż. Jolanty Tomaszewskiej – *Walidacja chromatograficznej metody równoczesnego oznaczania furfuralu, alkoholu furfurylowego i alkoholu tetrahydrofurfurylowego w mieszaninie reakcyjnej* (promotor: dr hab. inż. Izabela Witońska, prof. PŁ). Uroczyste ogłoszenie

wyników Konkursu, wręczenie nagród i dyplomów miało miejsce 29 marca 2017 r. na ogólnym zebraniu Oddziału Łódzkiego SITPChem. Z laureatów Konkursu swoje prace zreferowali Paulina Ratajczyk i Tomasz Smolarek, po czym odpowiadali na pytania uczestników zebrania. Zarząd Oddziału zakwalifikował prace Anny Stępień i Pauliny Ratajczyk do Konkursu Ogólnopolskiego.

Literatura

- [1] Regulamin Konkursu SITPChem na najlepszą pracę dyplomową z obszaru chemii dla absolwentów wyższych uczelni – zatwierdzony przez Prezydium ZG SITPChem 8 listopada 2010 r.
- [2] Kulczycki E., 2014, Oddział SITPChem w Łodzi, Materiały archiwalne Oddz. Łódzkiego SITPChem s. 230-238, http://www.Dzialalnosc_Oddzialu_SITPChem_w_Lodzi.pdf, 25.10.2016.
- [3] Kulczycki E., 2016, 70 lat aktywności Chemików w Oddziale SITPChem w Łodzi, Chemik, 70(11-12), 720-723.
- [4] Makarewicz E., 2013, XIX Ogólnopolska Konferencja Przemysł Chemiczny – Wyzwania i Bariery, z cyklu restrukturyzacja przemysłu chemicznego w Polsce, Chemik, 67(12), 1250-1253.
- [5] Czumak-Bieniecka A., 2014, XX Jubileuszowa Konferencja Naukowo-Techniczna z cyklu restrukturyzacja przemysłu chemicznego w Polsce „Przemysł Chemiczny – wyzwania i bariery”, Chemik, 68(12), 1107-1113.
- [6] Biuro ZG SITPChem, 2015, Sprostowanie, Chemik, 69(1), 53.
- [7] Komunikat Komisji Konkursowej z 16 grudnia 2015, Laureaci konkursu na najlepszą pracę dyplomową z obszaru chemia <http://sitpchem.org.pl/2015/12/16/laureaci-konkursu-na-najlepsza-prace-dyplomowa-z-obszaru-chemia/>, 25.10.2017.



Fot. Mgr inż. Tomasz Smolarek referuje wyniki pracy magisterskiej na ogólnym zebraniu Oddziału Łódzkiego SITPChem w dniu 29 marca 2017 r. (fot. A. Żarczyński)



Ewelina Niedzielska

ewelina.niedzielska@dokt.p.lodz.pl

Instytut Technologii Polimerów i Barwników, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Energia Nauki



Fot. 1. Noc Muzeów w EC1 (fot. A. Melnyk)

Początek 2018 roku to także początek nowego rozdziału dla nauki w Łodzi. Siódmego stycznia otwarte zostało największe w Polsce Centrum Nauki i Techniki EC1. To placówka, w której doskonale połączona została zabytkowa architektura pierwszej w Łodzi elektrowni z nowoczesnym i interaktywnym wyposażeniem ekspozycji. Każdy znajdzie tutaj coś dla siebie. Nasz profesjonalny zespół stworzył 3 atrakcyjne ścieżki edukacyjne, bogate w różnorodne interaktywne



Fot. 2. Kino sferyczne (fot. A. Melnyk)



stanowiska. Dzięki temu możesz zgłębić wiedzę na temat Przetwarzania Energii czy otaczających nas Mikroświata i Makroświata. Podczas zwiedzania ścieżki Mikroświat i Makroświat masz szansę zagrać w grę chemiczną, wylosować symbole pierwiastków i rozwinąć ich nazwy oraz poznać, jak szerokie zastosowanie mają różne substancje. Zobacz jak wygląda wnętrze laboratorium nanotechnologicznego, a za pomocą mikroskopu elektronowego zajrzysz w złożone struktury kwiatu stokrotki.



Fot. 3. Hydrofobowy liść lotosu – w Centrum Nauki i Techniki EC1 możesz sprawdzić, czym jest efekt lotosu (fot. N. Oliwiak)

Sprawdź jak wygląda wnętrze Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, w jaki sposób przygotowują się fizycznie kosmonauci, weź udział w symulacji lotu w przestrzeń kosmiczną. Zachęca także Ścieżka Rozwój Wiedzy i Cywilizacji, na której, między innymi, będziesz mógł sprawdzić, jak działa żyroskop czy wywołać burzę. A w kinie sferycznym przekonasz się, czym jest trzeci wymiar filmu.

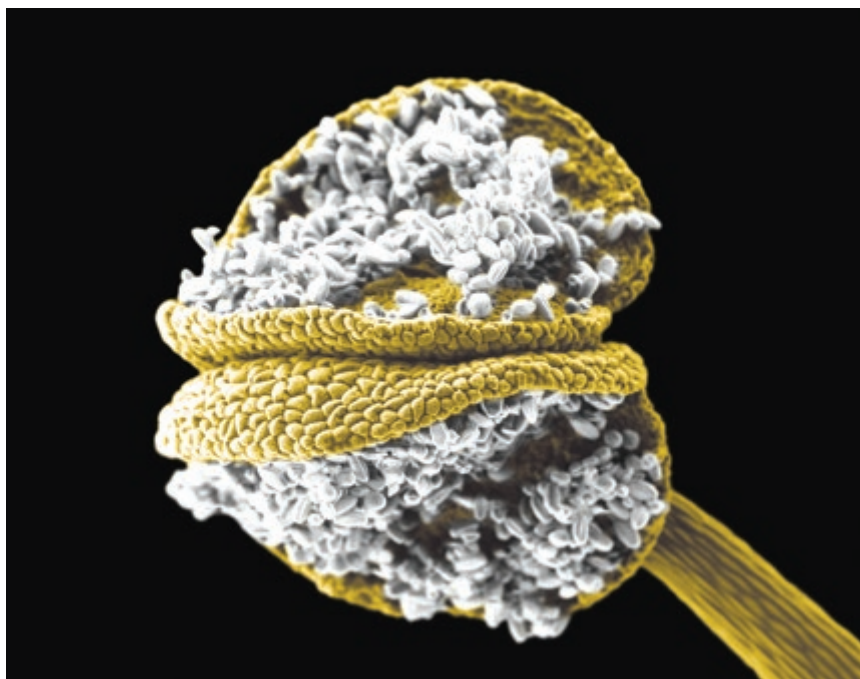


Fot. 4. Wystawa Leonardo da Vinci – Energia Umysłu (Materiały prasowe)

Czy wiesz, że Leonardo da Vinci miał z łodzią więcej wspólnego niż Ci się wydaje? Uczynił z włókiennictwa jeden ze swoich podstawowych obszarów badań, starając się rozwiązywać problemy praktyczne, które zaobserwował. Udoskonalił istniejące procesy poprzez ich automatyzację, stworzył prototypy krosna mechanicznego, zgrzeblarki

czy kołowrotka. Więcej o fantastycznych wynalazkach i projektach geniusza, jego życiu i twórczości dowiesz się odwiedzając znaną na całym świecie wystawę „Leonardo da Vinci – Energia umysłu” w Łódzkim EC1!

Przekonaj się, że nauka poprzez eksperyment i zabawę jest niesamowicie ciekawa!



Fot. 5. Dębik ośmiopłatkowy – zdjęcie pylnika wykonane w Centrum Nauki i Techniki EC1 za pomocą mikroskopu SEM (fot. B. Janus, grafika: A. Karpińska)



Hanna Makowska

hanna.makowska@dokt.p.lodz.pl

Katedra Fizyki Molekularnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Młodzi też potrafią – siła leży w wytrwałości i zaangażowaniu



Jestem doktorantką w Katedrze Fizyki Molekularnej na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej, gdzie poprzez prace w prestiżowym projekcie First Team Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej pt.: „Self-standing, flexible and solution processable organic field effect transistors for complementary applications” – jedynym takim na Politechnice Łódzkiej, mogę rozwijać swoje pasje oraz kształcić się w zakresie organicznej elektroniki.

Będąc młodym, dopiero zaczynającym naukowcem, można bardzo wiele osiągnąć, wystarczy chcieć i poświęcić odrobinę czasu, a rezultaty mogą okazać się zadziwiające. Poniżej pokrótce opiszę moją przygodę ze światem nauki, jak się ona zaczęła i jak od pracy w lokalnym Kole Naukowym rozrosła się do międzynarodowej działalności.

Swoją karierę naukową rozpoczęłam dzięki wolontariacie naukowym

w Katedrze Fizyki Molekularnej już na pierwszym roku studiów. Dzięki zaangażowaniu i opiece Pani dr Izabeli Bobowskiej oraz Pani dr Aleksandry Wypych-Puszkarcz odkryłam fascynujący świat nauki w skali mikro – i makroskopowym i zajęłam się badaniami nad właściwościami cieczy ferromagnetycznych na bazie nanocząstek tlenku żelaza(II), wytwarzaniem cienkich warstw tlenków kobaltu, żelaza i cynku oraz syntezą i modyfikacją powierzchniową nanometrowego dwutlenku tytanu. Wyniki prowadzonych badań pozwoliły mi na realizację pracy inżynierskiej, którą w lutym 2016 roku obroniłam z wynikiem bardzo dobrym. Głównym celem moich badań była poprawa stabilności zawiesin i wzrost hydrofobowości nanocząstek TiO_2 oraz określenie właściwości wytworzonych produktów.

Na drugim stopniu studiów w ramach programu ERASMUS+ (praktyki oraz semestr mobilny we współpracy z Johannes Gutenberg University w Mainz w ramach przedmiotu „Research and Development Project” na kierunku Nanotechnologia) spędziłam ponad 11 miesięcy w Max Planck Institute for Polymer Research (MPIP) w Moguncji w Niemczech. Prace badawcze, które realizowałam pod opieką Pana dr inż. Tomasza Marszałka i Pana dr hab. Wojciecha Pisuli, prof. PŁ w trakcie trwania stażu obejmowały kontrolę samoor-

ganizacji małowymiarowych półprzewodników organicznych oraz badania morfologii, mikrostruktury i właściwości elektrycznych w/w materiałów do zastosowań w organicznej elektronice. Praca w Instytucie Max’a Planck’a, w międzynarodowej grupie Prof. Dr Paul’a Blom’a (jednego z dyrektorów MPIP), umożliwiła mi nie tylko zdobycie doświadczenia naukowego, ale także rozwinięcie swoich umiejętności miękkich, takich jak praca w zespole, kreatywność, komunikatywność i prezentacja wyników badań w obcym języku. Wyniki badań, jakie uzyskałam w trakcie stażu, zakończyły się pracą magisterską pt.: „Organic field effect transistors with X-ray photoresponse”, którą we wrześniu 2017 roku obroniłam z wynikiem celującym. Badania w niej opisane pozwalają zrozumieć naturę oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego, w szczególności promieniowania rentgenowskiego, z półprzewodnikami organicznymi oraz na określeniu nowatorskich zastosowań dla tego typu materiałów.

Poza pracą naukową od pierwszego roku studiów prężnie działałam w krajowych jak i międzynarodowych organizacjach studenckich.

W październiku 2012, będąc studentką pierwszego roku, wstąpiłam do Studenckiego Koła Naukowego NANO (SKN NANO) działającego na Wydziale Chemicznym Politechniki



Łódzkiej. Poprzez ciężką i sumienną pracę zostałam wybrana do zarządu SKN NANO i pełniłam funkcję Sekretarza, a przez kolejne dwa lata funkcję Prezesa. Wraz z Kołem wzięłam udział w dziesiątkach akcji promocyjnych Wydziału oraz Uczelni, organizowałam pokazy chemiczne, warsztaty oraz seminaria naukowe dla studentów i licealistów. Włączyłam Koło do Akademickiego Stowarzyszenia Studentów Chemii zrzeszającego Koła Naukowe z obszaru chemii i nauk pokrewnych z całego kraju oraz organizującego rocznie 2 konferencje dla studentów. Przez rok (30.11.2015-31.12.2016) koordynowałam projekt pt.: „System nawożenia roślin oparty na hydrożelach otrzymywanych z OEGMA”, na który przyznano pełne dofinansowanie przez XVII Radę Kół Naukowych Politechniki Łódzkiej, wyniki projektu prezentowane były na kilku konferencjach ogólnopolskich oraz na seminariach SKN NANO.

Poprzez działalność w SKN NANO już w połowie I roku studiów wstąpiłam do Sekcji Studenckiej Polskiego Towarzystwa Chemicznego (SSPT-Chem), zrzeszającej młodych naukowców, studentów i doktorantów chemii i nauk pokrewnych z całej Polski. Na początku swojej przygody z Polskim Towarzystwem Chemicznym (w listopadzie 2013 roku) zostałam laureatem ogólnopolskiego konkursu na najlepszy plakat pt.: „Co wiesz na temat Jana Czochralskiego?” zorganizowanego przez SSPTChem w Warszawie podczas Sesji Polskiego i Niemieckiego Towarzystwa Chemicznego w ramach obchodów Roku Jana Czochralskiego. W kwietniu 2014 roku zostałam wcielona do Zarządu SSPT-Chem, a pół roku później powołana na funkcję Wiceprzewodniczącej Zarządu. W kwietniu 2015 roku podczas Walnego Zgromadzenia na Zjeździe



Fot. 1. Zdjęcie Członków SKN NANO po Zgromadzeniu Walnym w czerwcu 2015 roku (<https://www.facebook.com/SDKNNANO/>)



Fot. 2. Zdjęcie z zakończenia Zjazdu Wiosennego SSPTChem 2017 w Stegnie (od lewej na pierwszym planie) z laureatem nagrody za najlepsze wystąpienie ustne – Karolem Steckiewiczem (Gdański Uniwersytet Medyczny), Prorektorem ds. studenckich Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego – dr hab. Tomaszem Smiatczem, Przewodniczącą Gdańskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Chemicznego – prof. dr hab. inż. Barbarą Becker (Politechnika Gdańska), Członkiem Prezydium Polskiego Towarzystwa Chemicznego – prof. dr hab. Januszem Ryczkowskim (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie), jednym z zaproszonych wykładowców – dr hab. inż. Marcinem Kozaneckim (Politechnika Łódzka) oraz (drugi plan od lewej) Członkami Zarządu SS PTChem: mgr Piotrem Stasiewiczem (Uniwersytet w Białymstoku), Tomaszem Kostrzewą (Uniwersytet Gdański), mgr Justyną Piechocką (Uniwersytet Łódzki) oraz mgr inż. Pauliną Filipczak (Politechnika Łódzka) (<http://ssptchem.pl/pl/>)



The Board



Chair
Alice
Soldà



Secretary
Torsten
John

Team Leaders



Membership

Jelena
Lazić



Network

Victor
Mougél



Science

Hanna
Makowska



Communications

Kseniia
Otvagina

Fot. 3. Zdjęcie reprezentujące Zarząd European Young Chemists' Network na lata 2017-2019
(<http://www.euchems.eu/divisions/european-young-chemists-network/>)

Wiosennym zostałam wybrana na Przewodniczącą SSPTChem na trzyletnią kadencję. Wraz z Zarządem zorganizowałam do tej pory już 7 Zjazdów Naukowych – cyklicznych konferencji dla studentów i doktorantów (na których przyznawane są nagrody za najlepsze zaprezentowane komunikaty ustne oraz posterowe – fot. 2) oraz 3 spotkania „Forum Młodych” podczas Głównych Zjazdów Naukowych Polskiego Towarzystwa Chemicznego – największych konferencji chemicznych w kraju.

Praca w SSPTChem pozwoliła mi na działalność w międzynarodowych organizacjach. Od kwietnia 2015 roku zostałam oficjalną Reprezentantką SSPTChem na międzynarodowym forum European Young Chemists' Network (EYCN – studencki oddział European Association for Chemical and Molecular Sciences – EuCheMS – największego towarzystwa chemicznego w Europie zrzeszającego ponad 40 Towarzystw Chemicznych, między innymi PTChem). Przez dwa lata udzielałam się jako członek External Com-

munication Team of EYCN, a w maju 2017 roku w trakcie Zjazdu Delegatów EYCN zostałam wybrana na członka Zarządu EYCN – jako Science Team Leader – koordynatora 5-osobowego zespołu odpowiedzialnego za organizację konkursów, promowanie chemii wśród dzieci, młodzieży oraz osób niezwiązanych z nauką. Dodatkowo biorę udział w organizacji 7. ogólnoeuropejskiego kongresu chemicznego – 7th EuCheMS Chemistry Congress, który odbędzie się we wrześniu 2018 roku w Liverpoolu w Wielkiej Bryta-



nii. Warto tutaj nadmienić, że przez pierwsze dwa lata byłam najmłodszą uczestniczką Delegate Assemblies (międzynarodowych zjazdów reprezentantów EYCN), a teraz jestem najmłodszym członkiem Zarządu.

Praca w wolontariacie i organizacjach studenckich przyczyniła się do możliwości wyjazdów na zagraniczne praktyki i staże m.in. na:

- dwumiesięczny staż obejmujący badania na temat syntezy i charakterystyki polimeryzowalnych cieczy jonowych na Uniwersytecie Houston-Downtown w Houston w USA (07-08.2014 roku);
- dwutygodniowy staż na Uniwersytecie Technologii i Designu w Saint Petersburgu w Rosji zorganizowany dla najlepszych studentów Wydziału Chemicznego PŁ (07.2015 roku).

W trakcie trwania studiów wzięłam łącznie udział w kilkunastu konferencjach krajowych i blisko dziesięciu międzynarodowych, gdzie miałam zaszczyt wygłaszać referaty ustne oraz prezentować postery z badań własnych. Moje osiągnięcia naukowe zostały zauważone oraz wyróżnione licznymi stypendiami jak np.: stypendia Rektora Politechniki Łódzkiej dla najlepszych studentów i doktorantów, Jednorazowe Stypendium Naukowe Fundacji Politechniki Łódzkiej, Jednorazowe Stypendium Naukowe Marszałka Województwa Łódzkiego oraz Stypendium Miasta Łodzi.

W trakcie trwania doktoratu planuję kolejne zagraniczne staże oraz międzynarodowe konferencje, dzięki którym będę mogła nawiązać nowe współpracy naukowe z wybitnymi naukowcami. Dzięki zaangażowaniu w organizacje studenckie, już od początku studiów miałam możliwość nie tylko wiele się nauczyć od światowej sławy naukowców w wiodących ośrodkach naukowych, ale także po-



Fot. 4. U góry zdjęcie z ceremonii wręczenia Jednorazowych Stypendiów Naukowych dla Szczególnie Uzdolnionych Studentów Politechniki Łódzkiej z Wicepremierem, Ministrem Nauki i Szkolnictwa Wyższego – dr Jarosławem Gowinem, Jego Magnificencją Rektorem Politechniki Łódzkiej – prof. dr hab. inż. Sławomirem Wiakiem oraz Wiceprezesem Zarządu Łódzkiej Agencji Rozwoju Regionalnego – Agnieszką First. U dołu zdjęcie ze spotkania gratulacyjnego dla stypendystów Jednorazowego Stypendium Naukowego Marszałka Województwa Łódzkiego z Marszałkiem Województwa Łódzkiego – Witoldem Stępnem oraz Członkiem Zarządu Województwa Łódzkiego – Joanną Skrzydlewską (<http://lodz.naszemiasto.pl/artykul/zdjecia/jaroslaw-gowin-wreczyl-stypendia-studentom-politechniki,4050678,artgal,24439802,t,id,tm,zid.html> <http://lodz.naszemiasto.pl/artykul/zdjecia/stypendia-marszalka-wojewodztwa-lodzkiego-zdjecia,4157366,artgal,26121526,t,id,tm,zid.html>)

znać wiele wspaniałych i niezwykle ciekawych osób z całego świata oraz zwiedzić kilka przepięknych krajów.

Myślę, że nie ma ludzi niemądrych lub nieumiejących sobie nic załatwić, są tylko ludzie leniwi. Jestem chyba dobrym przykładem, że będąc mło-

dym, dopiero zaczynającym naukowcem, można bardzo wiele osiągnąć, wystarczy chcieć, dać coś od siebie i poświęcić trochę czasu, a rezultaty mogą okazać się zadziwiające.



Magdalena Długosz-Lisiecka

Kierownik Laboratorium Metod Izotopowych-LMI-IZOTOP

mdlugosz@mitr.p.lodz.pl

Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Komercjalizacja szansą ...

Jako naukowcy dzielimy codzienną pracę pomiędzy realizację projektów naukowych i zajęć dydaktycznych, popularyzację wiedzy i własne samokształcenie, ale czy tylko?! Domeną uczelni technicznych jest opracowywanie wdrożeń i patentowanie nowych rozwiązań. Następnym etapem tych działań jest komercjalizacja usług, która coraz częściej sprowadza laboratoria naukowo-dydaktyczne do

roli usługodawców, a wiedzę i wypracowane metody pomiarowe do komercyjnych produktów.

Oczywiście, podjęcie działań komercyjnych przez laboratorium naukowo-dydaktyczne nie jest obowiązkiem, ale stać się może ciekawym wyzwaniem. Pracownik laboratorium przestaje być tylko odkrywcą, ale coraz częściej odpowiedzialny jest za transfer swojego wynalazku na

zewnątrz. Idąc dalej nasz nobliwy naukowiec przestaje być zamkniętym w czterech ścianach odludkiem, ale staje się niejednokrotnie managerem szukającym rynków zbytu. Faktem jest, że wąska specjalizacja laboratorium ogranicza liczbę klientów, ale jeśli zakres wyposażenia pomiarowego i pakiet stosowanych metod są unowocześniane, oferta komercyjna laboratorium staje się atrakcyjniejsza.



Fot. 1 i 2. Pracownicy Laboratorium Metod Izotopowych podczas prac z izotopami promieniotwórczymi (fot. P. Szajerski)



Widomym jest też, że oczekiwania klientów stale rosną. Wymusza to dalsze udoskonalenia w funkcjonowaniu laboratorium uczelnianego. Koniecznością jest lepsza organizacja pracy i wdrożenie systemu zarządzania jakością. Laboratoryjną rutyną staje się formalizacja najdrobniejszych działań, wielokrotne sprawdzanie poszczególnych etapów pomiarów i walidacja metod, wzorcowania i porównania międzylaboratoryjne. Początkowo tego typu obowiązki zawsze nastęrczają kłopotów i zniechęcają kierownictwo laboratorium do certyfikacji. W tym momencie konieczne jest właściwe rozpoznanie rynków zbytu i oszacowanie potencjalnych korzyści płynących z podjętych działań.

Doktoranci – pracownicy teamów idących z duchem czasu mają często

okazję poczuć na własnej skórze czym jest akredytacja, ale nie ta teoretyczna, przesyciona terminologią norm systemów zarządzania, lecz bezpośrednio, poprzez konkretne systemowe działania. Technicznie praca w laboratorium sprowadza się do realizacji zadań ze szczególnym naciskiem na jakość. Dbałość o jakość pomiarową to pewność, że nasze pomiary są wiarygodne. Ale czy astrofizyk odkrywając nową planetę w kosmosie myśli o jakości swoich obliczeń? Powinien! Brak precyzji może skutkować kompromitującym pomyleniem nowo odkrytej planety z „dobrze znanym” Marsem!

Domeną, a może wręcz obowiązkiem naukowca powinna być dbałość o wiarygodność wyników. Jakim odkrywcą byłby nasz astrofizyk myślący

Marsa z Planetą 9 ukrytą za orbitą Neptuna?! Certyfikacja, czy akredytacja laboratorium, w którym funkcjonuje system zarządzania powinna być więc potwierdzeniem właściwej polityki jakości jego funkcjonowania, a nie oświadczeniem spełniania minimalnych wymagań w zakresie działań projakościowych.

Politechnika Łódzka jako pierwsza uczelnia w Polsce powołała spółkę celową o nazwie Centrum Transferu Technologii, odpowiedzialną za komercjalizację technologii opracowywanych w murach naszej Alma Mater. Inicjowanie współpracy pomiędzy uczelnią a biznesem odbywa się więc na coraz wyższym poziomie, co zostało docenione przez środowisko, a sama Uczelnia została okrzyknięta „Najbardziej innowacyjną i kreatywną



Fot. 3 i 4. Prace preparatyczne na próbkach komercyjnych (fot. M. Długosz-Lisiecka)





Fot. 5. Członkowie zespołu: dr hab. M. Długosz-Lisiecka, dr inż. P. Szajerski i mgr inż. A. Gąsiorowski (fot. P. Szajerski)

uczelnia w Polsce w tworzeniu perspektyw zawodowych”, PROStudentka Uczelnia 2011. Należy tu podkreślić, że rozszerzenie wachlarza działalności naszej Uczelni o działalność komercyjną przekłada się bezpośrednio na podwyższenie nie tylko kompetencji pracowniczych rodzimego personelu, ale również perspektyw zatrudnionych studentów. Wypracowanie wśród studentów nawyku dbałości o jakość wykonywanych nawet najdrobniejszych analiz, zetknięcie z systemem zarządzania jakością, który przecież stosowany jest przez wielu potencjalnych pracodawców, może okazać się uchyloną furtką w kierunku upragnionego zatrudnienia dla młodych ludzi, stojących u progu kariery zawodowej. Cały przemysł chemiczny, rozpoczynając od produkcji farmaceutyków, czy żywności, poprzez przemysł oponiarski, aż po analizy kryminalistyczne, oparty jest o pieczołowite, stale walidowane metody pomiarowe, realizowane zgodnie z procedurami systemowymi. Dla absolwentów Wydziału Chemicznego otwiera się więc rynek zatrudnień jako specjalistów – audytorów wewnętrznych. Znajomość, być może kiedyś krytykowanej normy jakościowej, może przełożyć się na zupełnie dobre warunki zatrudnieniowe w przyszłości.

Laboratorium Metod Izotopowych

funkcjonujące w Międzyresortowym Instytucie Techniki Radiacyjnej Politechniki Łódzkiej jest przykładem łączenia uczelnianych obowiązków naukowo-dydaktycznych z działalnością komercyjną. Profil pomiarowy laboratorium oparty jest głównie na analizach radiometrycznych w zakresie oznaczeń naturalnych i sztucznych radionuklidów promieniotwórczych w środowisku człowieka, głównie dla oceny potencjalnego narażenia radiologicznego. Realizujemy zadania naukowo-badawcze jak i komercyjne z zakresu monitoringu powietrza, wód pitnych w kierunku ochrony zdrowia człowieka i badania odpadów przemysłowych w kierunku ich wtórnego wykorzystania. Lata systematycznych pomiarów pozwalają nam na śledzenie długookresowych zmian radioaktywności środowiska spowodowanych działalnością człowieka. Realizujemy szereg umów m.in. z Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej oraz Państwową Agencją Atomistyki.

W ostatnim czasie nasze Laboratorium otrzymało certyfikację w zakresie analiz wody pitnej przeznaczonej do spożycia przez ludzi wydaną przez Powiatową Stację Sanepidu. Dodatkowo jesteśmy w trakcie procesu uzyskiwania akredytacji PCA wg normy ISO17025.

Nasze wieloletnie doświadczenie w zakresie monitoringu środowiska i dobra jakość pomiarowa zostały docenione przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (IAEA) która przyjęła naszą kandydaturę na członka elitarnej grupy ALMERA (<https://nucleus.iaea.org/rpst/referenceproducts/almera/index.htm>), realizującej zadania pomiarowe na wypadek zdarzeń radiacyjnych o zasięgu międzynarodowym. Dysponujemy sprzętem poborowym pracującym online i offline, co daje nam szerokie możliwości poborowe aerozoli w tym radioaktywnych (po uwolnieniach) i umożliwia podgląd bieżącego stanu zawartości radionuklidów w powietrzu oraz wykrycie i alarmowanie o wzroście poziomu mocy dawek i skażeń promieniotwórczych w środowisku.

Każdego roku nasze laboratorium bada kilkadziesiąt próbek środowiskowych. Nawiązaliśmy współpracę z wiodącymi firmami laboratoryjnymi, zarówno krajowymi jak i zagranicznymi. Otrzymujemy również zlecenia od laboratoriów zakładów wodociągowych z całej Polski. Oprócz samych badań świadczymy również usługi eksperckie oraz szkoleniowe w zakresie analiz radiometrycznych oraz oceny narażenia radiologicznego.

Nieprzerwanie inwestujemy w zaplecze aparaturowe oraz w pracowników w celu ciągłego rozwoju i zapewnienia najwyższych standardów naszych badań. Pracujemy w dynamicznie rozwijającym się i zgranym zespole. Zapraszamy studentów chętnych do współpracy w zakresie realizacji prac dyplomowych, magisterskich i doktorskich. Możliwa jest też realizacja wolontariatów i praktyk studenckich. Zapraszamy do odwiedzenia naszej strony WWW: izotop.p.lodz.pl.



Niezbędnik AKADEMICKI

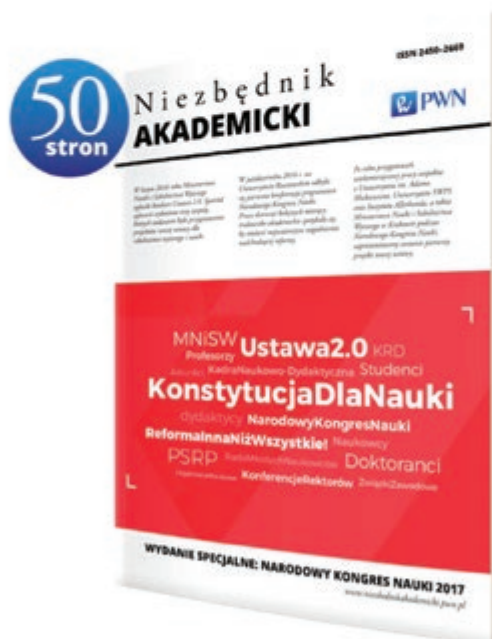


Bezpłatne e-czasopismo

dla pracowników naukowych i dydaktycznych



- Zawsze wiarygodne informacje o szkolnictwie wyższym
- Podpowiemy jak skutecznie prowadzić badania naukowe
- Zaplanuj z nami ścieżkę kariery i rozwiń swoje kompetencje pracy ze studentami



niezbednikakademicki.pwn.pl



Kierunki studiów na Wydziale Chemicznym PŁ

Studia I stopnia – inżynierskie

Kierunek: Chemia

Specjalność:

- Analiza chemiczna w kontroli jakości i ochronie środowiska
- Chemia biologiczna
- Chemia i fizyka polimerów
- Synteza organiczna

Kierunek: Chemia budowlana

Kierunek: Nanotechnologia

Specjalność:

- Nanomateriały funkcjonalne
- Polimerowe materiały inżynierskie

Kierunek: Ochrona środowiska

Specjalność:

- Analityka środowiska
- Ekologiczne źródła energii

Kierunek: Technologia chemiczna

Specjalność:

- Inżynieria biomateriałowa i radiacyjna
- Technologia barwników i chemii gospodarczej
- Technologia chemiczna nieorganiczna
- Technologia chemiczna organiczna
- Technologia polimerów

Nowy kierunek studiów inżynierskich
w języku angielskim



Studia II stopnia – magisterskie

Kierunek: Chemia

Specjalność:

- Chemia analityczna i strukturalna
- Chemia i fizyka polimerów
- Chemia medyczna
- Nowoczesna synteza i analiza organiczna
- Techniki fizykochemiczne i obliczeniowe w chemii, biologii i medycynie

Kierunek: Chemia budowlana

Kierunek: Nanotechnologia

Kierunek: Ochrona środowiska

Specjalność:

- Metody fotochemiczne i radiacyjne w ochronie środowiska
- Technologie oczyszczania ścieków i uzdatniania wody
- Zarządzanie i monitoring środowiska

Kierunek: Technologia chemiczna

Specjalność:

- Inżynieria biomedyczna i radiacyjna
- Kataliza przemysłowa
- Technologia barwników, środków pomocniczych i chemii gospodarczej
- Technologia leków i środków ochrony roślin
- Technologia polimerów

Kierunek: Chemia i inżynieria materiałów
specjalnego przeznaczenia



www.chemia.p.lodz.pl

 www.facebook.com/Wydzial.Chemiczny

