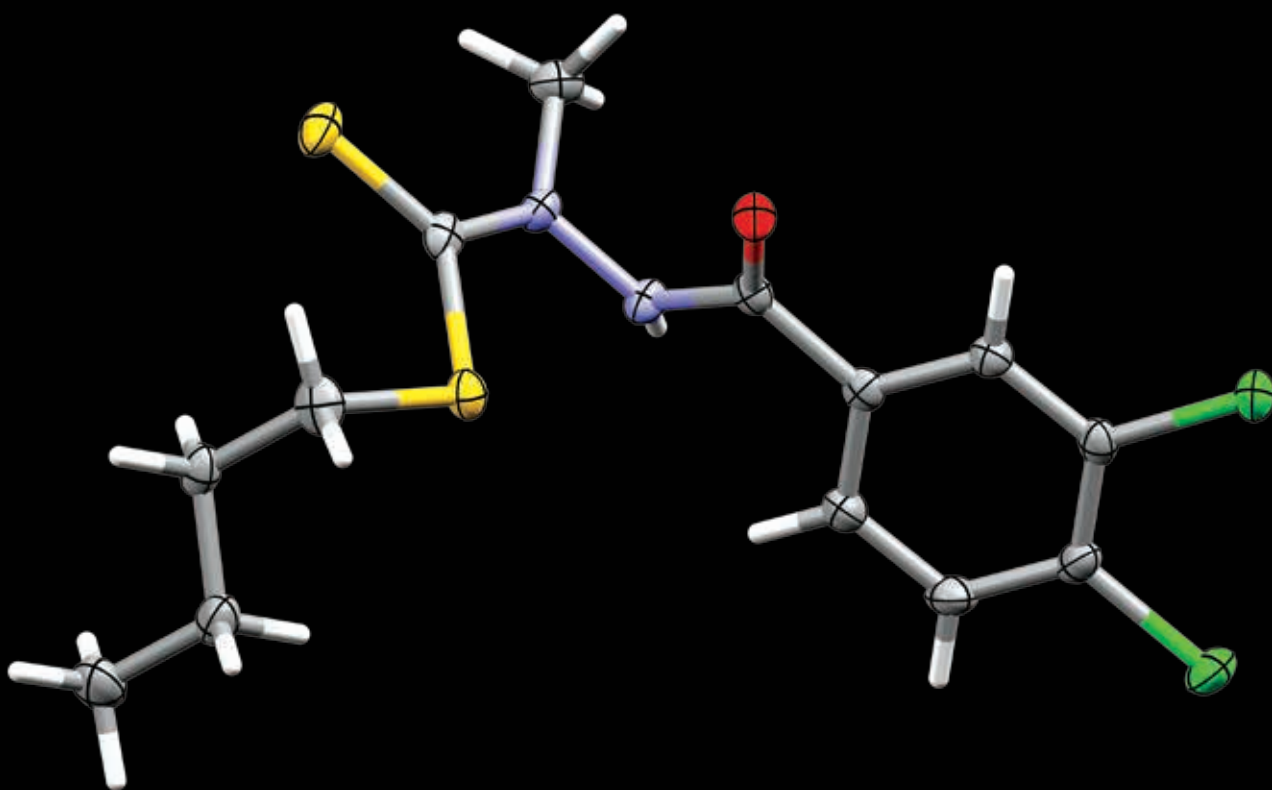


Eliksir

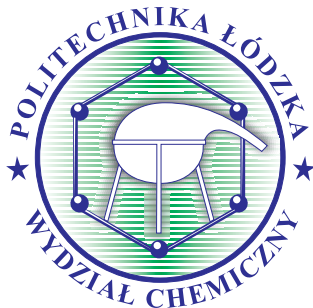
ISSN 2449-5476

czasopismo naukowo-dydaktyczne Wydziału Chemicznego PŁ



2(8) / 2018

Rysunek wykonany na potrzeby czasopisma „Elixir”, zaczerpnięty z publikacji:
Planarity of benzoylhydrazine–dithiocarbazoate tuberculostatics.
I.N'-Methyl-substituted 3,4-dichlorobenzoyl monoesters
Małgorzata Szczesio, Andrzej Olczak, Katarzyna Gobis, Henryk Foks and Marek L. Główka
Acta Cryst. (2012). C68, o373–o376



Drodzy Czytelnicy,

w bieżącym roku akademickim powitaliśmy kolejnych Studentów, którzy zdecydowali się związać swoją przyszłość z Wydziałem Chemicznym PŁ. Liczną grupę stanowią Studenci nowego kierunku kształcenia „Analityka Chemiczna”. Życzymy, aby wybrane studia spełniły Ich oczekiwania i skłoniły do samodzielnego poszerzania wiedzy i umiejętności. Mamy nadzieję, że zaproponowany program nauczania znajdzie Ich uznanie i że za cztery lata zasilą szeregi Studentów II stopnia naszego Wydziału.

Á propos Wydziału – z radością informujemy, że marzenia o nowym budynku Alchemium zaczynają przybierać konkretną postać. Na razie są to „tylko” wstępne prace związane z przygotowaniem terenu, ale mamy nadzieję, że wiosną 2019 roku budowa ruszy pełną parą.

W obecnym wydaniu czasopisma przedstawiamy artykuły poświęcone polimerom oraz intensywnie rozwijającej się dziedzinie, jaką są badania nanocząstek i nanomateriałów. Czytelnicy znajdą też szereg informacji o przyszłych i minionych wydarzeniach. Ze szczególną dumą informujemy o międzynarodowych sukcesach studentów i pracowników Wydziału.

W dziale historycznym tym razem gorąco polecamy fascynującą opowieść Profesora Mirosława Leplawego o jednym z twórców Politechniki Łódzkiej i Wydziału Chemicznego – Profesorze Osmanie Achmatowiczu.

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, prof. PŁ
Zespół redakcyjny
dr inż. Dorota Adamczyk-Szabela
dr hab. inż. Małgorzata Szczesio
dr inż. Anna Turek

Wydawca: Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Projekt okładki: dr hab. inż. Małgorzata Szczesio

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(8)/2018

Wszystkie artykuły zostały zrecenzowane przez promotorów/opiekunów prac



Spis treści:

HISTORIA WYDZIAŁU CHEMICZNEGO 5

Profesor Osman Achmatowicz (1899-1988) 5

ARTYKUŁY 13

Monitoring produkcji energii elektrycznej w przykładowej farmie wiatrowej
na terenie województwa łódzkiego 13

Nanodruły metaliczne – rozmiar ma znaczenie 18

Polimeryzacja rodnikowa z przeniesieniem atomu jako narzędzie
do syntezy zaawansowanych materiałów 21

Nanocząsteczki jako „nowoczesny” czynnik stresowy dla roślin 26

Uniepalnianie materiałów polimerowych 28

AKTUALNOŚCI 31

Medale dla prac z Wydziału Chemicznego PŁ na międzynarodowych
wystawach wynalazków 31

KONFERENCJE 35



Osman Achmatowicz (1899-1988)

PROFESOR, KIEROWNIK KATEDRY
CHEMII ORGANICZNEJ (1945-1953)
WSPÓŁTWÓRCA, PROREKTOR (1945-1948 I 1952/53)
I DRUGI REKTOR (1948-1952) POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ

Stopnie naukowe: dr chemii, 1928 r., Uniwersytet Stefana Batorego w Wilnie;

dr filozofii (DPh), 1930, Uniwersytet Oksfordzki; habilitacja, 1932; dr nauk, 1953, Centralna Komisja Kwalifikacyjna.

Stanowiska naukowo-dydaktyczne w Szkołach Wyższych: pomocniczy pracownik naukowy w Katedrze Chemii Organicznej USB, 1922-1932; docent w USB, 1932/1933; profesor nadzwyczajny i kierownik Katedry Chemii Farmaceutycznej i Toksykologicznej Uniwersytetu Warszawskiego 1934-1939; profesor zwyczajny i kierownik Katedry Chemii Organicznej Politechniki Łódzkiej, 1945-1953; profesor zwyczajny w Katedrze Chemii Organicznej Uniwersytetu Warszawskiego, 1953-1969; profesor emeritus od 1.X.1969.

Stanowiska administracyjno-organizacyjne w Szkołach Wyższych, Ministerstwie Szkolnictwa Wyższego i Polskiej Akademii Nauk: Dziekan Wydziału Farmaceutycznego Uniwersytetu Warszawskiego 1936-1938. Prorektor Politechniki Łódzkiej, 1945-1948 i 1952/1953. Rektor Politechniki Łódzkiej 1948-1952. Kierownik Zakładu Syntezy Organicznej PAN, 1953-1956. Podsekretarz Stanu w Ministerstwie Szkolnictwa Wyższego, 1953-1960. Doradca Ministra Szkolnictwa Wyższego 1960-1962.

Służba zagraniczna: Dyrektor Instytutu Kultury Polskiej w Londynie, 1964-1969.

Członkostwo i funkcje w organizacjach naukowych: (wybrane) Członek Polskiego Towarzystwa Chemicznego, wiceprezes, 1937-1939. The Chemical Society (London), członek dożywotni. Członek Amerykańskiego Towarzystwa Chemicznego, Szwajcarskiego Towarzystwa Chemicznego. Członek korespondent Polskiej Akademii Umiejętności 1945, Warszawskiego Towarzystwa Naukowego 1945, Łódzkiego Towarzystwa Naukowego,



*XV-lecie Politechniki Łódzkiej 1960.
Wystąpienie prof. Osmana Achmatowicza
po otrzymaniu stopnia doktora honoris causa PŁ*

1945. Członek korespondent Polskiej Akademii Nauk, 1952. Członek rzeczywisty PAN, 1961. Przewodniczący Rady Naukowej Głównego Instytutu Włókiennictwa, 1949-1952. Przewodniczący Rady Naukowej Instytutu Barwników i Półproduktów, 1950-1953. Członek Rady Naukowej czasopisma Tetrahedron (London), od 1956. Członek Rady Naukowej wydawnictwa Index Chemicus (Philadelphia), 1958-1968.

Nagrody i odznaczenia (wybrane): Państwowa nagroda I stopnia (indywidualna), 1964. Krzyż Oficerski Orderu



Odrodzenia Polski, 1951. Krzyż Komandorski Orderu Odrodzenia Polski, 1954. Order Sztandaru Pracy I klasy, 1960. Doktorat honorowy Politechniki Łódzkiej, 1960.

Osman Achmatowicz pochodzi z książęcego rodu Tatarów Litewskich, którego udokumentowane korzenie historyczne sięgają przełomu XIV i XV wieku. Nazwisko Achmatowicz przyjął na stałe Achmat, protoplasta z XVI wieku, a Osman i jego czterej bracia i dwie siostry (zobacz fotografię) to osiemnaste pokolenie Achmatowiczów. Przodkowie zapisali się wielokrotnie na kartach historii Litwy i Polski jako dowódcy jazdy tatarskiej w służbie wielkiego księcia litewskiego Witolda, a potem Jagiellonów i kolejnych królów państwa polsko-litewskiego – Rzeczypospolitej Obojga Narodów. Monarchowie hojnie nagradzali zasługi członków rodu, o czym świadczą nadania rozległych posiadłości ziemskich.

Ojciec Osmana Achmatowicza Aleksander, wybitny prawnik, rzeczywisty radca stanu i wiceoberprokurator Senatu Rządzącego w Piotrogradzie pełnił liczne funkcje społeczne i polityczne. Był prezesem powstałego po obaleniu dynastii Romanowych Związku Tatarów Polski, Litwy, Białorusi i Ukrainy w Piotrogradzie. Reprezentował Tatarów polsko-litewskich w Komitecie Wykonawczym

Wszecchosyjskiej Rady Muzułmańskiej, był ministrem sprawiedliwości Republiki Krymskiej (1917). W II Rzeczypospolitej Polskiej objął urząd prezesa sądu apelacyjnego ziem przyfrontowych i etapowych (1920), a po zajęciu Wilna przez wojska polskie został powołany na dyrektora departamentu Tymczasowej Komisji Rządzącej Litwy Środkowej (1920-1921) oraz senatora Rzeczypospolitej. Jako kolega szkolny Józefa Piłsudskiego, w lutym 1920 r. wyjednał zgodę naczelnika państwa na utworzenie w armii polskiej pułku tatarskich ułanów imienia Mustafy Achmatowicza (pułkownik wojsk kościuszkowskich).

Gniazdem rodowym Achmatowiczów był majątek ziemski Bergaliszki położony koło Oszmiany na Ziemi Wileńskiej. Jak wielkie znaczenia miały Bergaliszki dla tradycji rodzinnej świadczy następujące wydarzenie. Otóż, metryka urodzenia Osmana – najmłodszego z pięciu braci była dwustronna. Na jednej stronie, jako miejsce urodzenia zapisany był Piotrków Trybunalski z datą 16 marca 1899 r., natomiast na drugiej stronie Bergaliszki i data 21 marca 1899 r. Według przekazu rodzinnego, okoliczności tych wpisów były następujące. Matka Osmana, Emilia z Kryczyńskich (także rodzina tatarskich książąt), przed urodzeniem syna gościła



Zespół Katedry Chemii Organicznej PŁ 1953. Stoją od lewej: prof. Władysław Rodewald, Czesław Borecki, N.N, doc. dr inż. Kazimierz Studniarski, Bernard Fiszer, prof. Mirosław Leplawy, Jan Wieczorkowski, doc. dr hab. Henryk Zajęc. Siedzą od lewej: prof. Jerzy Wróbel, prof. Jan Michalski, prof. Osman Achmatowicz, prof. Bolesław Bochwic, Elżbieta Maruszewska-Wieczorkowska

w Paryżu. Kiedy zbliżał się czas porodu wyruszyła do Bergaliszek, gdzie rodzi się wszyscy Achmatowicze. Los chciał, że rozwiązanie nastąpiło wcześniej, właśnie w Piotrkowie Trybunalskim. Ojciec Osmana użył swoich wpływów w świecie prawniczym, aby powstała druga strona metryki z zapisem daty pojawienia się noworodka w Bergaliszkach i ten właśnie zapis przyjęto w rodzinie za obowiązujący.

Podobnie jak starsi bracia, młody Osman kształcił się w elitarnym Korpusie Paziów w Piotrogradzie i tam uzyskał w 1916 roku maturę, a następnie przez krótki okres czasu studiował w Piotrogradzkim Instytucie Górniczym. Na rodzinnej fotografii z 1917 r. widzimy studenta Osmana Achmatowicza w uniformie tego Instytutu. Wkrótce, cała rodzina Achmatowiczów przeniosła się z Piotrogradu do Wilna, a Osman znalazł się w grupie pierwszych studentów, którzy podjęli studia w odrodzonym w 1919 r. Uniwersytecie Wileńskim Stefana Batorego.

W 1925 r. uzyskuje pierwszy na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym stopień magistra chemii, a w 1928 r. stopień doktora chemii. W 1923 r. zostaje asystentem w Katedrze Chemii Organicznej, kierowanej przez profesora Kazimierza Sławińskiego, ucznia światowej sławy badacza chemii terpenów Jegora Wagnera profesora Politechniki Warszawskiej. W autobiografii, Osman Achmatowicz pisze: *„Jestem uczniem Kazimierza Sławińskiego, profesora chemii organicznej Uniwersytetu Stefana Batorego w Wilnie. Jemu zawdzięczam rozbudzenie we mnie zamiłowania do nauki, zrozumienie znaczenia nauk przyrodniczych, wdrożenie do pracy badawczej w chemii organicznej”*.

Pierwsze prace badawcze Achmatowicza, w tym rozprawa doktorska *„O nowym szeregu α -pochodnych bornylenu”* (1928), dotyczyły chemii terpenów. Chemia produktów naturalnych pozostała głównym polem jego zainteresowań naukowych we wszystkich etapach działalności badawczej w Uniwersytecie Wileńskim (1923-1933), Uniwersytecie Oksfordzkim (1928-1930), Uniwersytecie Warszawskim (1934-1939), Politechnice Łódzkiej (1945-1953) i ponownie Uniwersytecie Warszawskim (1953-1969).

Wysoka ocena uzdolnień naukowych 29-letniego doktora Achmatowicza znajduje wyraz w przyznaniu mu stypendium Funduszu Kultury Narodowej przy Radzie Ministrów. Dzięki stypendium, zaraz po doktoracie w 1928 r. wyjechał na dwuletni staż podoktorski w The Dyson Perrins Laboratory w Oksfordzie, kierowanym

przez profesora W.H.Perkina Jr. Towarzystwo mu, poślubiona w 1924 r. żona Helena oraz urodzona w 1926 r. córka Emilia. Helena była córką Wiktora Staniewicza, profesora matematyki i Rektora USB. Związki między historyczną tatarską rodziną Achmatowiczów a znaną polską rodziną Staniewiczów umocnione zostały już wcześniej przez małżeństwo starszego brata Osmana, Leona z Teresą Staniewicz, siostrą Heleny.

Praca w Oksfordzie wciąga Achmatowicza w krąg zainteresowań budową strychniny, głównego alkaloidu zawartego w nasionach kulczyby wronie oko, klasycznego problemu strukturalnego chemii organicznej. W 1929 r. umiera przedwcześnie kierownik laboratorium W.H. Perkin. W tej sytuacji, Achmatowicz pogłębia nawiązany uprzednio kontakt naukowy z profesorem Robertem Robinsonem, późniejszym laureatem nagrody Nobla (1947) i kontynuuje studia nad strychniną i brucyną. Poprawny wzór strukturalny strychniny, Robinson opublikował w 1946 r. Było to osiągnięcie przełomowe w rozwoju chemii organicznej. Wkład Achmatowicza polegał na zrealizowaniu ważnego etapu degradacji strychniny, tzw. degradacji Hofmanna. Pobyt w Oksfordzie kończy doktoratem filozofii (D.Ph.) Uniwersytetu Oksfordzkiego na podstawie rozprawy *„Studies on the Structure of Strychnine and Brucine”* i wraca do Wilna. W latach 1931 i 1933 rodzą się synowie Achmatowicza Osman i Selim.

Pobyt Osmana Achmatowicza w Oksfordzie miał miłe implikacje rodzinne. Przez wieki potomkowie Achmatowiczów płci męskiej zajmowali się wojowaniem i gospodarzeniem na swoich włościach, ale byli też prawnicy tak jak ojciec Osmana, Aleksander Achmatowicz. Dwóch spośród pięciu jego synów wyłamało się z tradycji. Najstarszy Leon został lekarzem, a najmłodszy Osman chemikiem. Zawód lekarza został przez ojca zaakceptowany, bo był wolnym zawodem. Chemik to był nikt i dlatego Osman był przez ojca w pewnym stopniu sekowany. Po sukcesach naukowych w Oksfordzie, ojciec zaakceptował życiowy wybór Osmana i zaprzagnął zamieszkać z nim razem w Osmanówce, małej części rodzinnego majątku. Do końca życia łączyła ich wielka przyjaźń.

Kolejne etapy jego działalności naukowej to habilitacja (USB 1933) i powołanie 35-letniego docenta jako profesora nadzwyczajnego na Katedrę Chemii Farmaceutycznej i Toksykologicznej Uniwersytetu Warszawskiego (1934 r.). Szybko organizuje warsztat badawczy, a problematykę alkalidową rozszerza na fizjologicznie aktywne składniki roślin stosowanych w polskim leczeniu



ludowym, ziela widłaków (*Lycopodium annotinum*, *L. clavatum* i *L. selago*) i kłączy żółtej i białej lilii wodnej (*Nuphar luteum*, *Nuphar alba*). Badania te przerywa w 1939 r. wojna, a cały zebrany materiał doświadczalny zostaje zniszczony wraz z laboratorium. Okres okupacji to obrona życia rodziny, tułaczka Bergaliszki-Wilno-Kowno-Warszawa-Częstochowa, tajne i jawne nauczanie chemii organicznej na poziomie akademickim. Wykładał chemię organiczną dla studentów Wydziału Farmaceutycznego Tajnego Uniwersytetu Warszawskiego. W 1944 r. po powstaniu warszawskim, prowadził wykłady i zajęcia z chemii organicznej na Tajnym Uniwersytecie Ziemi Zachodnich w Częstochowie. Piszący te słowa spotkał prof. Achmatowicza po raz pierwszy na początku 1944 r. jako student w Państwowej Wyższej Szkole Technicznej (PWST) w Warszawie. Była to uczelnia kontrolowana przez Niemców, zlokalizowana na terenie zamkniętej Politechniki Warszawskiej, a Achmatowicz przejął wiosną tego roku wykłady po zmarłym profesorze Politechniki Warszawskiej Ludwiku Szperlu.

Pamiętam dzień, kiedy profesor Tadeusz Wojno – Kierownik Wydziału Chemicznego Szkoły, a później pierwszy Dziekan Wydziału Chemicznego naszej Politechniki wprowadził do audytorium nowego wykładowcę i w krótkiej prezentacji przedstawił sylwetkę profesora Achmatowicza. Obaj panowie w eleganckich ciemnych garniturach, dystyngowany sposób bycia, w prezentacji słyszymy o studiach Achmatowicza w Oksfordzie, o tym że był przed wojną jednym z najmłodszych profesorów w Polsce. Wykład profesora Achmatowicza z 1944 r. pamiętam nie tylko z uwagi na uroczystą oprawę. Uroczystą, bo nie często dzisiaj się zdarza, aby wykładowca był przedstawiany studentom przez Dziekana. Wykład był znakomity, przygotowany w każdym szczególe, łącznie z wyćwiczonym wcześniej pisaniem wzorów chemicznych. Wykładowca był dowcipny – przekonał nas, że tylko chemik organik pojmuje istotę materialną, cytując: „damskiej jedwabnej pończoszki”. Wszyscy, którzy słuchali wystąpień profesora Achmatowicza zawsze byli pod wrażeniem jego perfekcji jako mówcy. Ale ta perfekcja, to wynik nie tylko talentu – to również mozolna praca przygotowawcza – 4 godzin przygotowań na 1 godzinę wykładu kursowego nawet po kilkudziesięcioletnim doświadczeniu – mawiał nam profesor, dodając jednocześnie – to nie sztuka wykładać co się wie – trzeba wiedzieć, co się wykłada, a ponadto dostrzegać każdego słuchacza.

Spotkanie w 1944 r. człowieka o tak fascynującej indywidualności wytyczyło moją dalszą ścieżkę życiową. Podążyłem za nim jako student jesienią 1945 r. do Łodzi. Achmatowicz przybył tu wiosną na zaproszenie pierwszego Rektora PŁ profesora B. Stefanowskiego, aby przez osiem następných lat oddać się bez reszty współorganizowaniu Politechniki, budowaniu Wydziału Chemicznego oraz własnego warsztatu badawczego – Katedry Chemii Organicznej. Na inauguracji pierwszego roku akademickiego Uczelni w październiku 1945 r. Achmatowicz wystąpił obok Rektora Stefanowskiego jako Prorektor Politechniki. Gdzie znajdowała się wtedy Uczelnia? Inauguracja odbyła się w Szkole Włóknienniczej na ul. Żeromskiego. Tamże odbywała się część zajęć i ćwiczeń, a niektóre wykłady w salach kinowych. Laboratoria w fabrykach na Widzewie (Anilana), Scheiblera. Rektorat umieszczono w pałacu Scheiblerów, nie mniej okazałym niż obecny w willi Richtera. Na terenie byłej fabryki Rosenblatta przy ul. Żwirki 36, Rektor Stefanowski i Prorektor Achmatowicz natychmiast zaczęli przebudowę hal fabrycznych i magazynów do celów Uczelni. Politechnika Łódzka jest chyba jedyną Uczelnią w Polsce powstałą dosłownie w murach fabrycznych. Mimo zniszczeń wojennych tempo prac było wręcz niewiarygodne. W 1948 r., kiedy jako student zostałem zastępcą asystenta w Katedrze Chemii Organicznej, laboratoria dydaktyczne Wydziału Chemicznego były już gotowe i nieźle jak na owe czasy wyposażone. Pod czujnym okiem Prorektora Achmatowicza budowano szybko i dobrze. Niemal każdego dnia spędzał co najmniej 1 godzinę na budowach. Lubił to. Drewno budowlane zdobywał osobiście na Mazurach. Mające 52 lata stoły laboratoryjne służą nam do dzisiaj. Instalację ściekową wykonano z odpornych na chemikalia rur ołowianych. Ich już nie ma, poszły na złom. Obecne pokolenie hydraulików nie umie ich uszczelniać, więc wymienia się je na żeliwo, by w krótkim czasie wymienić na nowsze żeliwo lub plastik.

W 1948 r. Osman Achmatowicz przejmuje po Rektorze Stefanowskim ster Uczelni. Z rozmachem kontynuuje i przyspiesza rozbudowę Politechniki. Rozpoczyna się budowa od podstaw ogromnego jak na tamte czasy gmachu Wydziału Włóknienniczego. Pamiętam załazek Wydziału Chemii Spożywczej, kiedy szef polecił nam zwolnić w Katedrze kilka stołów laboratoryjnych do dyspozycji profesora Stanisława Zagrodzkiego na prace z technologią cukrownictwa. Utworzenie w 1950 r.

i organizacja Wydziału Chemii Spożywczej jest ściśle związana z osobą rektora Achmatowicza, który wziął na siebie to poważne i trudne zadanie. To był w Polsce pierwszy Wydział Politechniczny tego rodzaju. Nie mając wzorców należało ustalić kierunki i programy studiów, skompletować kadrę naukową, zbudować i uruchomić laboratoria. W 1950 r. Rektor Achmatowicz wywalczył od władz miasta nowo wybudowany gmach szkolny przy ul. Wólczańskiej, a już w 1951 r. po adaptacji powstają w tym budynku laboratoria Wydziału Chemii Spożywczej. Rektor Achmatowicz działał z wielkim zaangażowaniem na rzecz umocnienia nowego Wydziału, nawet kosztem macierzystego Wydziału Chemicznego, czego dowodem jest jego inicjatywa przeniesienia w 1950 r. dr. Mieczysława Serwińskiego, późniejszego Rektora PŁ z zadaniem uruchomienia i rozbudowy powołanej na Wydziale Chemii Spożywczej, Katedry Inżynierii i Aparatury Chemicznej. Oczkiem w głowie dla Profesora i Rektora Achmatowicza była Biblioteka Chemiczna. Pamiętam zdobywanie przez szefa bezcennych dla prowadzenia badań zbiorów bibliotecznych, transporty książek i czasopism chemicznych z Ziemi Odzyskanych, z fabryk łódzkich, od przyjaciół z zagranicy. Pamiętam okrutne – tak nam się wtedy wydawało – polecenie szefa, aby znaczną część księgozbioru Katedralnego przekazać do Biblioteki Chemicznej – a potem jego wystąpienie na Radzie Wydziału: „*postanowiłem przekazać część księgozbioru Katedry na rzecz Wydziałowej Biblioteki Chemicznej z nadzieją, że inni kierownicy uczynią podobnie*”. Zbiory Biblioteki Chemicznej były kompletowane od zera. W 1953 r., kiedy O. Achmatowicz opuścił Łódź, była to jedna z najlepszych bibliotek chemicznych w Polsce, posiadająca pełne komplety najważniejszych czasopism od pierwszych numerów, w tym tytułów zainicjowanych w połowie XIX stulecia. Część zbiorów wzbogaciła Bibliotekę Wydziału Chemii Spożywczej, krótko po wybudowaniu dla niej nowoczesnych pomieszczeń (1976 r.). W ramach obchodów 47 rocznicy powstania Politechniki Łódzkiej, 26 maja 1992 r., odbyła się uroczystość nadania Bibliotece Chemicznej imienia Osmana Achmatowicza. My, jego wychowankowie i współpracownicy wiemy, że tak wyrażoną pamięć ceniliby Profesor najwyżej.

Osman Achmatowicz był Rektorem PŁ przez jedną kadencję 1948-1952.

Nie chciał dalej pełnić tej funkcji, ale wyraził gotowość pomocy swojemu następcy Rektorowi Bolesławowi Konorskiemu jako Prorektor Uczelni. Był Prorektorem

w roku akademickim 1952/53, a głównym frontem jego działań była kontynuacja rozbudowy PŁ. Czyż to nie jest niezwykle, że ustępujący Rektor bierze na siebie obowiązki Prorektora. Wielu słucha tego z niedowierzaniem, ale my wychowankowie wiemy, że takie niezwykle decyzje były wyrazem wielkiej indywidualności Profesora. Przykłady można by mnożyć i każdy kto się zetknął z O. Achmatowiczem miałby coś do dodania. Pamiętam reakcję Profesora na skargę aktywistów organizacji młodzieżowej, że pytania egzaminacyjne z chemii organicznej są zbyt trudne, a wymagania stawiane studentom zbyt wysokie. W odpowiedzi usłyszeli, że egzaminy będą w dalszym ciągu indywidualne, z tym, że będą się odbywały publicznie z udziałem studentów i asystentów. „*Spodziewam się, że panowie przyjdą na najbliższy egzamin – będzie to doskonała okazja do zweryfikowania własnej wiedzy*”, zakończył rozmowę Profesor. Inny przykład ilustrujący osobowość O. Achmatowicza to odpowiedź młodemu absolwentowi chemii, który wystąpił o „wydanie” tematu pracy doktorskiej. Zwrócił się Pan pod zły adres, ja nie „wydaję” tematów prac doktorskich – odpowiedział Profesor i dalej – u mnie w zespole realizowane są tematy badawcze a niektóre, w zależności od wyników, owocują doktoratami.

Upięknęło niemal 5 lat oddanych budowie i organizowaniu bazy lokalowo-laboratoryjnej, zdobywaniu aparatury badawczej na miarę ówczesnych, jakże skromnych, możliwości finansowych, szkoleniu młodych sił naukowych, zanim w Katedrze Chemii Organicznej zostały stworzone warunki do podjęcia autentycznych badań naukowych. Na początku lat pięćdziesiątych Profesor wznawia w Łodzi przerwana przez działania wojenne tematykę alkaloidów ziela widłaków i kłączy lilii wodnych. Mozolnie gromadzone przed wojną materiały doświadczalne, próbki związków które miały być poddane badaniom strukturalnym, wszystkie notatki laboratoryjne nie istniały – strawił je pożar Zakładu Chemii Farmaceutycznej i Toksykologicznej UW wywołany bombardowaniem Warszawy przez Niemców w 1939 r. Tak więc cały mozolny cykl prac – zbieranie setek kilogramów surowca roślinnego w lasach (*Lycopodium*) lub na dnie jezior (*Nuphar luteum*), pozyskanie za pomocą ekstrakcji, składników zasadowych (alkaloidy), kwasowych i obojętnych, rozdzielanie mieszanin na analitycznie czyste związki chemiczne (zwykle w skali miligramowej), oznaczenie ich własności fizycznych i chemicznych i wreszcie najbardziej liczący się etap finalny – oznaczenie struktury



chemicznej, należało powtórzyć od początku. Decyzja wznowienia badań była w wysokim stopniu ryzykowna, albowiem oznaczała podjęcie współzawodnictwa z silnymi, lepiej wyposażonymi zespołami zagranicznymi, które podchwyciły tematykę Achmatowicza w czasie wojny (Kanadyjczycy) i krótko po wojnie (Niemcy i Japończycy), posuwając się szybkimi krokami naprzód.

W początkowym okresie, postęp prac zespołu Achmatowicza nad alkaloidami *Lycopodium* i *Nuphar luteum* był okupiony trudem i znojem, a bywało że łzami. Przez pierwsze 10 lat zespół posługiwał się metodami klasycznej chemii organicznej, krystalizacją frakcjonowaną dla rozdzielania mieszanin i degradacją chemiczną dla poznania struktury, a więc metodami z natury powolnymi i pracochłonnymi. Nowoczesne i wysoko wydajne fizykochemiczne metody instrumentalne (chromatografia, UV, IR, NMR, spektrometria masowa) mogły być zastosowane dopiero w latach sześćdziesiątych z powodu braku we wcześniejszym okresie aparatury bądź z uwagi na to, że niektóre z metod wówczas dopiero kiełkowały. A oto wybrane wyniki badań. Identyfikacja 93% kompleksu alkaloidów *L. annotinum* i odkrycie 6 alkaloidów dotąd w literaturze nie opisanych (współautor W. Rodewald). Dla pełnego obrazu należy wspomnieć, że chemicy kanadyjscy i niemieccy zbadali niecałe 30% całości ciał zasadowych *L. annotinum*. Wyświetlenie struktury klawatyny, alkaloidu wyodrębnionego z *L. clavatum* (współautor H. Zajęc). Wyodrębnienie z *L. selago* i scharakteryzowanie nieznanego dotąd alkaloidu pseudoselaginy (współautor W. Rodewald).

Szczególnie interesująco rozwinęły się badania alkaloidów zawartych w kłączach lilii wodnej żółtej (*Nuphar luteum*). W latach 1960-1962 zespół Achmatowicza (współautor Z. Bellen) dokonuje odkrycia nowej klasy alkaloidów odznaczających się nienotowaną dotąd w literaturze zawartością siarki. W piśmiennictwie przeglądowym (A. R. Katritzky; Chem. Ind., 1963, 506) odkrycie to znalazło się na liście szczególnie ważnych osiągnięć chemii organicznej 1962 r. W badaniach nad strukturą alkaloidów *Nuphar luteum* (współautor J. Wróbel) zastosowano szeroki arsenał nowoczesnych metod fizykochemicznych, co stosunkowo szybko doprowadziło do rozwiązania struktury neotiobinufarydyny, głównego składnika kompleksu alkaloidów *Nuphar luteum* oraz struktury tiobinufarydyny. Po odejściu O. Achmatowicza od warsztatu badawczego tematykę składników *Nuphar luteum* kontynuował z niemałymi sukcesami jego uczeń

prof. Jerzy Wróbel wraz ze swoim zespołem, dzięki czemu urosła ona do rangi samodzielnego rozdziału w chemii alkaloidów.

Specjalnego komentarza wymagają prace badawcze O. Achmatowicza nad chemią cyjanku karbonylu $\text{CO}(\text{CN})_2$, małej cząsteczki strukturalnie podobnej do gazu bojowego fosgenu. Temat ten zainicjował krótko przed wojną – nie bez oczywistego zainteresowania ówczesnego dowództwa wojsk polskich – Roman Małachowski, profesor chemii organicznej Uniwersytetu Jana Kazimierza we Lwowie. Małachowski jako pierwszy zsyntetyzował cyjanek karbonylu (współautorzy L. Jurkiewicz (zmarł w 1945 r.) i J. Wójtowicz) oraz przeprowadził wstępne badania jego reaktywności, co miało stanowić podstawę do dalszych prac nad wyświetleniem istoty zaobserwowanych przemian. Ten program nie został jednak zrealizowany; na przeszkodzie stanęła przedwczesna, tragiczna śmierć Małachowskiego w 1944 r. Temat leży poza granicami chemii produktów naturalnych, głównego nurtu zainteresowań O. Achmatowicza i jest ponadto tematem „cudzym”. „Ten mały intruz, psija krew” – tak o cyjanku karbonylu wyrażał się żartobliwie z wileńskim akcentem Profesor. „Można by więc zapytać, dlaczego został włączony do programu naszych badań?” pisze O. Achmatowicz i dalej – „Podjęliśmy ten temat z pobudek natury moralno-emocjonalnej; nie chcieliśmy dopuścić do zaprzepaszczenia urwanej przez wojnę oryginalnej myśli naukowej wybitnego polskiego organika, profesora R. Małachowskiego, który stracił życie w powstaniu warszawskim”. Cyjanek karbonylu to związek bardzo niebezpieczny. Lotny, silnie trujący, w zetknięciu z wodą eksploduje z podmuchem gazowego cyjanowodoru. Niebezpieczeństwo wybuchu czyha na każdym z pięciu etapów syntezy, polegającej na degradacji kwasu cytrynowego do cyjanku karbonylu. Uczennice Małachowskiego, które przeżyły wojnę, Profesor Zofia Jerzmanowska, AM w Łodzi, docent Józefa Jankiewicz-Wąsowska z Politechniki Śląskiej (zmarła w 1957 r.), nie miały warunków lokalowych i kadrowych, aby przejąć temat w swoje ręce.

W naszym laboratorium nie ustrześliśmy się, w początkowym okresie prac nad cyjankiem karbonylu, od wybuchów, ale z czasem technika syntezy została tak opanowana, że zasłużony laborant Bolesław Skowronek mógł produkować cyjanek karbonylu zarówno dla łódzkich, jak i dla warszawskich wykonawców tematu. Seria publikacji dotyczących badań nad chemią cyjanku



karbonylu obejmuje 21 publikacji (współautorzy: O. Achmatowicz Jr., K. Belniak, Cz. Borecki, K. Kociołek, M. Leplawy, A. Redliński, J. Szychowski, F. Werner-Zamojska, J. Wróbel, A. Zamojski, A. Zwierzak), przy czym 7 osób doktoryzowało się z tej tematyki. Poznanie cyjanku karbonylu i jego przemian chemicznych jest oryginalnym wkładem polskich chemików, poszerzającym wiedzę w dziedzinie chemii organicznej.

Triumfalne wejście do laboratoriów chemicznych nowoczesnych technik badawczych (chromatografia, techniki spektroskopowe, rezonans magnetyczno-jądrowy NMR) skłoniło O. Achmatowicza do powrotu do tematyki z lat młodości – w szczególności do niewyjaśnionych wówczas problemów chemii strychniny. Za pomocą wspomnianych wyżej technik wyświetlono subtelne aspekty reduktywnej degradacji czwartorzędowych soli strychniny i strychnidyny (współautorzy: S. Achmatowicz i J. Szychowski).

Profesor Osman Achmatowicz – oprócz intensywnego uprawiania własnej tematyki – pomógł swojemu usamodzielniającemu się uczniowi Janowi Michalskiemu, wówczas doktorowi, rozwinąć w Łodzi na szeroką skalę badania nad organiczną chemią fosforu. Z inicjatywy O. Achmatowicza powstała w Katedrze Chemii Organicznej PŁ w 1952 r. pracownia Zakładu Syntezy Organicznej PAN, z której wypączkował Zakład Związków Heteroorganicznych PAN, a później po fuzji z działającym na terenie PŁ Zakładem Polimerów PAN utworzone zostało Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN w Łodzi z profesorem Janem Michalskim jako Dyrektorem.

Każdy element życia Kadry Chemii Organicznej był przepojony indywidualnością Szefa. Sygnał – „Achmatowicz idzie” – elektryzował dosłownie wszystkich: studentów, asystentów, laborantów, starszych doświadczonych współpracowników. Każdy oczekiwał w stanie pełnej mobilizacji psychicznej i fizycznej, czy Profesor podejrze, co powie, czy sprawdzi notatki laboratoryjne. Z żelazną konsekwencją wymagał od asystentów autentycznego zaangażowania w pracy ze studentami. Bywał często w laboratoriach studenckich, kontrolował ich stan, sprawdzał czy studenci znają podstawy teoretyczne przeprowadzanych eksperymentów, czy zestawy szklanego sprzętu są prawidłowo zmontowane. Po takich wizytacjach nie szczędził krytycznych uwag asystentom prowadzącym ćwiczenia. Wykłady Profesora budziły podziw dla nauki i jej twórców, zachęcały do pracy ba-

dawczej. Sporo czasu poświęcał na własne eksperymenty – zwykle wieczorami i w niedziele. Tylko wtedy był wolny od obowiązków w Rektoracie i nawału prac organizacyjnych związanych z budową Politechniki. Przy stole laboratoryjnym, tak jak zawsze, w eleganckim garniturze z nieodłączną muszką, z tym że wtedy pracował z białą ściereczką na ramieniu. Uwielbiał krystalizację frakcjonowaną – był w tej technice niedościgniony – jedynie może Władek Rodewald, przez kilka lat osobisty asystent Profesora zbliżył się tuż, tuż. Startując ze 100 mg mieszaniny, po kilkudziesięciu krystalizacjach zawsze miał w rękach niemal 100% materiału wyjściowego podzielonego na frakcje. Na każdym odcinku pracy, zwłaszcza naukowej, wymagał sumienności i staranności. Wpajał tę postawę swoim uczniom. Ci, którzy mieli szczęście pracować z nim dłużej, często dopiero po latach, stanąwszy wobec własnych odpowiedzialnych zadań, mogli w pełni ocenić wartość jego szkoły.

Osman Achmatowicz był profesorem Politechniki Łódzkiej przez 8 lat. W 1953 r. zostaje powołany na stanowisko podsekretarza stanu w Ministerstwie Szkolnictwa Wyższego. Objęcie tej funkcji łączy z powrotem na Uniwersytet Warszawski jako profesor w Katedrze Chemii Organicznej. Był wiceministrem do 1960 r., a więc przez 7 lat. Równoległe, na Uczelni Warszawskiej kontuuje i intensywnie rozwija swoją tematykę badawczą. Obejmując strategiczne stanowisko w Ministerstwie Szkolnictwa Wyższego, postawił sobie zadanie wzmocnienia nauki polskiej przez stworzenie warunków do uprawiania w kraju nowych dyscyplin naukowych, które rozwinęły się na świecie bez naszego udziału. Do tego programu działań włączył Politechnikę Łódzką, czego wyrazem jest perspektywiczny staż naukowy Jerzego Kroh (wówczas doktora) w dziedzinie chemii radiacyjnej. W 1958 r. O. Achmatowicz zainicjował, zorganizował i z puli Ministerstwa sfinansował dwuletni staż dr. Jerzego Kroh w laboratorium profesora F. S. Daintona, najwybitniejszego brytyjskiego chemika radiacyjnego (Uniwersytet w Leeds). To był początek powstania w PŁ silnej placówki badawczej – Instytutu Techniki Radiacyjnej. Do Łodzi O. Achmatowicz przyjeżdżał często, zarówno jako nasz nauczyciel jak i wiceminister, żywo interesujący się rozwojem Uczelni, którą 8 lat budował. W 1960 r. Politechnika nadała mu doktorat honorowy.

W 1964 r. powołany zostaje do służby zagranicznej na stanowisko Dyrektora Instytutu Kultury Polskiej w Londynie. Cóż za trafny wybór. Wybitny profesor,



uczony z oxfordzkim rodowodem, znany we wpływo-
wych kręgach nauki brytyjskiej, człowiek wielkiej klasy,
pełen osobistego czaru, a przy tym arystokrata, co prasa
brytyjska odkryła szybko po nominacji. Pracował na tym
stanowisku do 1969 r., a więc niemal do chwili przejścia
na emeryturę. Jego kadencja odbiła się na trwałe na wi-
zerunku placówki reprezentującej polską kulturę i naukę
w Wielkiej Brytanii.

Wielkim osiągnięciem Osmana Achmatowicza są
jego uczniowie. Profesor kierował 12 pracami doktor-
skimi; 10 z jego uczniów odbyło dłuższe staże naukowe
w bardzo dobrych ośrodkach naukowych w Wielkiej
Brytanii, Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Francji,
Szwajcarii; 8, dzięki dalszej, już samodzielnej pracy
badawczej, otrzymało nominacje profesorskie oraz
powołania na kierownicze stanowiska w Politechnice
Łódzkiej, Centrum Badań Molekularnych i Makromo-
lekularnych PAN w Łodzi, Uniwersytecie Warszawskim,
Instytucie Chemii Organicznej PAN w Warszawie, In-
stytucie Farmaceutycznym w Warszawie. Uczniowie,
profesorowie Jan Michalski i Jerzy Wróbel są członkami
rzeczywistymi PAN.

W 1971 r. Osman Achmatowicz napisał autobiografię,
obejmującą 25 lat powojennej (1945-1969) działalności
naukowej. Fakt, że opublikował ją w Zeszytach Nauko-
wych PŁ (1973, nr 139, str. 7-53) świadczy o szczególnych
więzach łączących Profesora z Politechniką Łódzką. A był
tutaj tylko przez 8 lat swojego niemal 90-cio letniego
życia. Przypomnijmy fragmenty autobiografii o uczniach
i skierowane do uczniów – do każdego z nas.

*„Wszystkie prace z tego okresu (tzn. 1945-1969)
ogłoszone przy moim współautorstwie były wykonane
rękoma młodych chemików, w znakomitej większości
zaprawionych do pracy badawczej w Zakładzie Chemii
Organicznej Politechniki Łódzkiej”... – i dalej – „Nie-
mniej doniosłą i coraz ważniejszą funkcją jest wynajdy-
wanie w toku tej pracy młodych talentów i tworzenie
z nich zastępów nowych sił dla zapewnienia ciągłości
rozwoju wiedzy i nauki.*

*Uczniowie w pracy naukowej to bezcenny skarb.
Zręcznością pracowitych rąk, młodzieńczym zapałem
talentów badawczych, gruntowną wiedzą, wytrwałością
i twórczym uporem realizują oni i rozwijają koncepcje
naukowe swego mistrza, budując kolejne ogniwa w nie-
kończącym się łańcuchu rozwojowym nauki.*

***Jest wielką odpowiedzialnością i zarazem bardzo
trudnym zadaniem dokonywanie trafnego wyboru***

***młodych kandydatów do pracy naukowej. Nieraz
w grę wchodzi takie skrajności jak zwichnięcie kariery
życiowej młodego człowieka lub narażenie na szwank
dobra nauki.***

*Było dla mnie wielkim szczęściem i pomocą, że przez
cały czas mojej działalności naukowej miałem dobrych
uczniów: dobrze wykształconych, zdolnych, pracowitych,
naukowców ambitnych i utalentowanych, bez reszty
oddanych umiłowanej pracy badawczej. Każdy z osobna
stanowił silną, swoistą indywidualność. Wymagaliśmy
wszyscy od siebie nawzajem wiele, nikt nie szukał łatwi-
zyny, byliśmy względem siebie twardzi i surowi, mimo to
wszystko, a może właśnie dlatego, razem wzięci tworzy-
liśmy całość harmonijną i pracowaliśmy w atmosferze
lojalności i życzliwości, bez zadrażnień lub zakłóceń
osobistych – a to są kardynalne warunki powodzenia
w zespołowej pracy badawczej.*

*Bez uczniów niewiele byłbym w stanie w nauce zdia-
łać. Chcę to mocno tu podkreślić i dodać, że „moje” prace
to jest nasz wspólny dorobek.*

*Pragnę moich uczniów zapewnić o głębokiej wdzięcz-
ności, jaką żywię dla nich wszystkich i życzyć im jak
najpełniejszego zadowolenia i coraz większych sukcesów
w prowadzonej przez nich pracy naukowo-badawczej”.*

Osman Achmatowicz mówił o sobie, że jest spoloni-
zowanym Tataram Litewskim. Zgodnie z tradycją pod-
kreślano, że rodzina jest muzułmańska, ale od pokoleń
przeniknięta polskim patriotyzmem. We wrześniu 1939 r.
po wybuchu wojny Osman Achmatowicz pojechał z da-
lekiej Osmanówki do Warszawy zgłosić się do wojska,
mimo że miał kategorię D i już 40 lat. Synowie, kilkuletni
chłopcy wiedzieli, że tak trzeba zrobić.

Profesor Osman Achmatowicz zmarł 4 grudnia 1988 r.
w Warszawie, 3 miesiące przed ukończeniem 90-ego
roku życia. Spoczął na Powązkowskim Cmentarzu Mu-
zumańskim obok żony Heleny, zmarłej w 1974 r.

Podziękowanie autora. Składam serdeczne podzię-
kowania synom Profesora Osmana Achmatowicza,
Osmanowi Jr. (prof.) i Selimowi (dr) oraz uczniom –
moim bliskim kolegom – profesorom Jerzemu Wróblowi
i Aleksandrowi Zamojskiemu za materiały i informacje
wykorzystane w tym wspomnieniu.

*Pierwowzór artykułu ukazała się jako: Leplawy M.T.,
2002, Zeszyty Historyczne Politechniki Łódzkiej, 1, 17-52.*



Grzegorz Wągorowski, Andrzej Żarczyński, Marcin Zaborowski

„Grzegorz Wągorowski” 197588@edu.p.lodz.pl; andrzej.zarczynski@p.lodz.pl; marcin.zaborowski@p.lodz.pl
Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Monitoring produkcji energii elektrycznej w przykładowej farmie wiatrowej na terenie województwa łódzkiego

Wstęp

Rozwój cywilizacji powoduje coraz większe zapotrzebowanie ludności na energię, wyczerpywanie się jej tradycyjnych źródeł w postaci paliw kopalnych oraz wzrost zanieczyszczenia środowiska. Problemy te zwiększają zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii (OZE), tj. siły wiatru [1-7], nurtu wody [8, 9], geotermii [10, 11], promieniowania słonecznego [12-14], biopaliw [15-17] oraz biomasy [18-22]. OZE faktycznie stanowią nieograniczone zasoby czystej energii pochodzące z naturalnych procesów przyrodniczych, które w porównaniu do nieodnawialnych źródeł energii są bardzo przyjazne dla środowiska naturalnego [22-25].

W społeczeństwie w przypadku energii wiatrowej, oprócz korzyści dostrzegane są mankamenty tego źródła energii, w praktyce zależnego od siły wiatru, czyli niestabilnego w czasie. Poza tym turbiny wiatrowe w większości generują hałas, zwłaszcza dokuczliwy przy usytuowaniu ich w pobliżu osiedli ludzkich. Ponadto energetyka wiatrowa powoduje zmiany w krajobrazie, uciążliwości zdrowotne dla ludzi, zagrożenia dla awifauny, a także obniża atrakcyjność rekreacyjną oraz wartość materialną danego terenu [5, 26-29].

Głównymi celami polskiej polityki energetycznej dla stałego i zrównoważonego rozwoju tego sektora jest zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju, zwiększenie konkurencyjności i efektywności energetycznej oraz ograniczenie oddziaływania na środowisko. Zakłada się zwiększenie udziału energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii do 15% do roku 2020. Takie wytyczne mają za zadanie przeciwdziałać zmianom klimatycznym, zmniejszać emisje gazów cieplarnianych oraz obniżyć emisję zanieczyszczeń do powietrza, wody i gleby [1, 3, 4, 6, 30]. Jedną z dróg prowadzących do osiągnięcia tego celu jest rozwój energetyki wiatrowej [1-4, 24, 30-32], niestety zahamowany zwłaszcza ustawą z dnia 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych [33].

Przedmiot i Metody Badawcze

Charakterystyka środowiska badanych turbin wiatrowych

Przedmiotem badań były turbiny farmy wiatrowej znajdującej się na terenie wiejskim w zachodniej części województwa łódzkiego¹. Badana farma składała się z siłowni wiatrowych produkcji firmy Enercon GmbH, posadowionych



Fot. 1. Przedmiot badań – turbiny o mocy po 0,5 MW produkcji firmy Enercon GmbH (fot. G. Wągorowski)

¹ Autorzy publikacji uprzejmie dziękują Właścicielowi farmy wiatrowej, który prosił o anonimowość, za umożliwienie wykonania badań na jej terenie Panu Grzegorzowi Wągorowskiemu w ramach realizacji pracy dyplomowej inżynierskiej, a także za zgodę na opublikowanie uzyskanych wyników w czasopiśmie Eliksir.



na dwóch działkach rolnych. Na południe od elektrowni wiatrowej w odległości około 680 m zlokalizowana jest luźna zabudowa wiejska, podobnie jak i w kierunku północnym, ale w odległości 1200 m. Na wschód od farmy znajduje się jedna zagroda wiejska w odległości około 320 m. Zabudowy te przedziela pas gruntów rolnych oraz zadrzewienia znajdujące się na sąsiednich działkach. Z kolei w kierunku południowo-wschodnim znajdują się tereny leśne. Omawiany teren położony jest na obszarze wzniesień polodowcowych na wysokości około 185 m n.p.m. Otwartość terenu, jego lekkie pofałdowanie, brak przeszkód terenowych oraz niewielki współczynnik aerodynamicznej szorstkości powierzchni pozytywnie wpływają na warunki pracy elektrowni wiatrowej. Fauna ograniczona jest praktycznie do awifauny, która ma w większości miejsca lęgowe na terenie Parku Krajobrazowego Międzyrzecza Warty i Widawki, znacznie oddalonego od badanej farmy wiatrowej.

Specyfikacja techniczna turbin wiatrowych firmy Enercon GmbH

Analizowana farma wiatrowa składa się z 4 turbin produkcji firmy Enercon GmbH, z których 3 turbiny wiatrowe posiadają moc znamionową po 0,5 MW, zaś czwarta jest od nich większa i ma moc 2 MW (fot. 1, tabela 1). Turbiny te posiadają pierścieniowy generator prądu przemiennego, który sprzęgnięty jest bezpośrednio z wirnikiem, a takie połączenie nie wymaga instalacji stacji przekładniowej. Wirnik składa się z 3 łopat wykonanych z żywic epoksydowych. W piaście wirnika umieszczony jest silnik, który pozwala na ustawienie odpowiedniego kąta nachylenia łopat. Gondola jako całość ma możliwość obracania się w kierunku wiatru, wyposażona jest bowiem w silniki służące do jej obrotu. Ustawianie łopat oraz odpowiednie zorientowanie

gondoli względem wiatru jest determinowane przez układ mikroprocesorowy, który uwzględnia dane z anemometru (wiatromierza). W gondoli znajdują się również specjalistyczne mechanizmy, jak układ hamulcowy, łożyska oraz liczne elementy elektroniczne.

Firma Enercon GmbH posiada zakłady produkcyjne w Niemczech oraz jeden na terenie Polski (Opole). Turbiny wiatrowe tej firmy są powszechnie użytkowane na całym świecie, dlatego ich działy serwisowe możemy znaleźć m.in. w Argentynie, Kanadzie, Polsce, Republice Południowej Afryki czy na Tajwanie. Głównymi producentami turbin wiatrowych na świecie w 2015 r. były firmy z poniższymi udziałami na rynku energetyki wiatrowej: Vestas (Dania) – 12,3%, Siemens (Niemcy) – 9,9%, GE (Stany Zjednoczone) – 9,1%, GoldWind (Chiny) – 9% oraz Enercon GmbH (Niemcy) – 7,8% [32].

Cel i zakres pracy

Celem pracy była analiza warunków funkcjonowania grupy turbin energetycznych znajdujących się w badanej farmie wiatrowej, następnie zebranie wyników technologicznych z dwóch wybranych siłowni należących do tej farmy, a dotyczących parametrów ich pracy i efektywności energetycznej. Badaniem objęto dwie turbiny wiatrowe ENERCON E-40 o mocy znamionowej po 0,5 MW. Analizowano pracę obu turbin pod względem efektywności energetycznej oraz innych parametrów związanych z produkcją energii elektrycznej w latach 2016-2017.

Wyniki i Dyskusja

Porównano dane technologiczne turbin, które oznaczono numerami 1 i 2, a uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 2 oraz na rys 1-6.

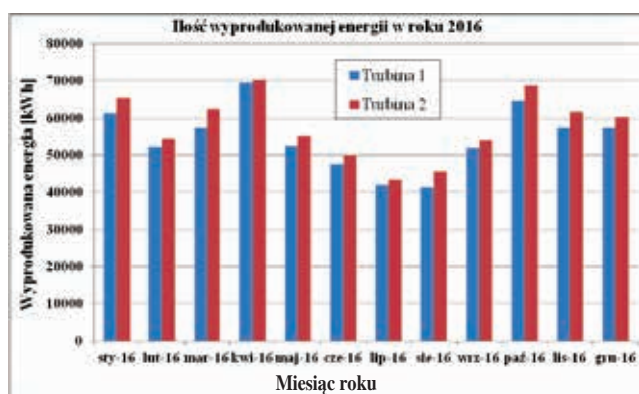
Tabela 1. Specyfikacja techniczna turbin wiatrowych [32, 34, 35]

Parametry techniczne badanych turbin wiatrowych	Enercon E-40 (trzy turbiny)	Enercon E-82 (jedna turbina)
Moc turbiny [kW]	500	2000
Średnica wirnika [m]	40,3	82
Liczba łopat	3	3
Wysokość wieży [m]	65	94
Wysokość całkowita [m]	85	135
Znamionowa prędkość wiatru [m/s]	12	13
Zakres prędkości wiatru [m/s]	2,5 do 25	2 do 28
Zakres prędkości obrotowej [obr/min]	6 do 38	6 do 18
Powierzchnia rotora [m ²]	1,275	5,281
Maksymalny poziom mocy akustycznej [dBA]	100,8	100,4

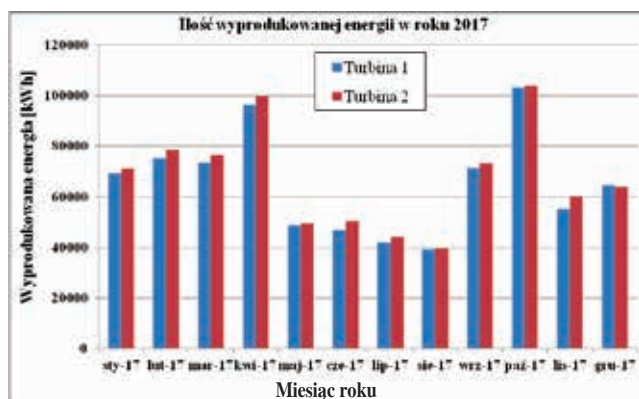
Wyniki produkcji energii przez badane turbiny wiatrowe

Tabela 2. Porównanie rocznej produkcji energii elektrycznej obydwu badanych turbin wiatrowych [32]

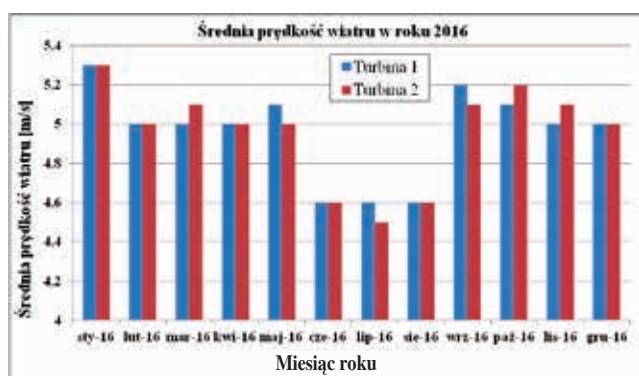
Okres czasu	Numer turbiny	Średnia prędkość wiatru [m/s]	Ilość wyprodukowanej energii [kWh]	Liczba godzin pracy turbiny [h]	Wydajność [%]
Rok 2016	1	4,96	654 839	6 965	79,51
	2	4,96	691 194	7 036	80,31
Rok 2017	1	5,43	786 295	7 171	81,86
	2	5,38	830 874	7 242	82,67



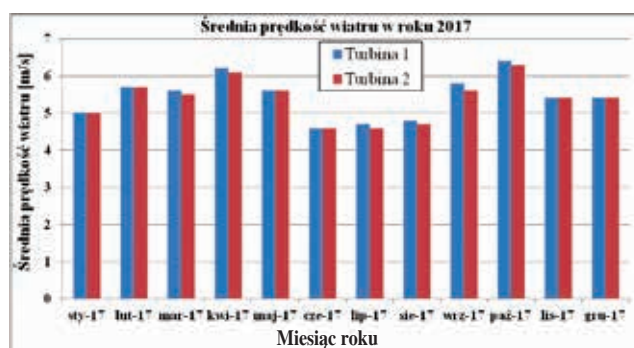
Rys. 1. Energia wyprodukowana w poszczególnych miesiącach 2016 roku przez dwie turbiny o mocy 0,5 MW każda



Rys. 2. Ilość wyprodukowanej energii w poszczególnych miesiącach 2017 roku przez dwie turbiny o mocy 0,5 MW każda



Rys. 3. Średnia prędkość wiatru w poszczególnych miesiącach 2016 roku



Rys. 4. Średnia prędkość wiatru w poszczególnych miesiącach 2017 roku

Dyskusja wyników

Dane zamieszczone na rys. 1 i 2 wykazały, jak zmienna w czasie była produkcja energii elektrycznej przez badane turbiny. Z kolei na rys. 3 i 4 przedstawiono średnią prędkość wiatru w poszczególnych miesiącach lat 2016 i 2017. W roku 2016 turbina 1 wyprodukowała 654 839 kWh energii, zaś turbina 2 – 691 194 kWh, różnica w ilości wytworzonej energii wynosiła więc 36 355 kWh, a średnia prędkość wiatru przez cały ten rok przyjęła wartość 4,96 m/s. Rok 2017 był o wiele bardziej efektywny, produkcja turbiny 1 to 786 295 kWh energii, a turbiny 2 – 830 874 kWh, różnica w ilości wyprodukowanej energii wyniosła 44 579 kWh. Średnia prędkość wiatru była wyższa niż w roku poprzednim i wynosiła około 5,4 m/s, co przyczyniło się do większej produkcji energii [32]. Wyniki z dwóch lat wskazują, że turbina 2 pracowała z lepszą skutecznością od turbiny 1. Patrząc na miesięczną produkcję energii elektrycznej stwierdzono, że zmieniała się ona dość znacznie. Najwięcej energii turbiny wygenerowały w październiku oraz kwietniu roku 2017 (max 103 846 kWh), gdy średnie prędkości miesięczne wiatru były największe i wynosiły nawet 6,3 m/s (rys. 4), pod tym względem również okres zimowy wypadł korzystnie. Miesiące letnie czyli czerwiec, lipiec i sierpień były okresem znacznie mniej efektywnym dla energetyki wiatrowej. Średnia prędkość wiatru była wtedy znacznie niższa od



notowanej w innych miesiącach, utrzymywała się bowiem na poziomie 4,5 m/s, czego skutkiem były skromniejsza produkcja energii mieszcząca się w zakresie 40 000-50 000 kWh, czyli ponad dwa razy niższa od uzyskanej w kwietniu i październiku [32].

Innym parametrem decydującym o produkcji energii elektrycznej, który był na bieżąco monitorowany, była liczba godzin pracy turbiny. Im więcej godzin pracowała turbina, tym więcej energii wyprodukowała. Analizowane turbiny wiatrowe pracowały w zakresie prędkości wiatru od 2,5 do 25 m/s. W pracy [32] podano maksymalne prędkości wiatru zarejestrowane przez anemometr. W niektórych miesiącach prędkości wiatru przekraczały 25 m/s, ale również prędkość 2,5 m/s nie zawsze była uzyskiwana.

System komputerowy farmy co pewien czas resetował się i wprowadzał aktualizacje, a turbina w tym czasie była wyłączana. Turbina wiatrowa to instalacja, w której także występują awarie, podczas których system automatycznie wyłącza jej pracę. Wyżej wymienione przyczyny negatywnie wpływały na liczbę godzin pracy turbiny, aby lepiej to zobrazować obliczono wydajność turbin rozumianą jako stosunek liczby godzin pracy turbiny do maksymalnego czasu, w którym mogłaby ona pracować.

Największe wydajności turbiny uzyskiwały w okresie zimowym, zaś najniższe w okresie letnim, co głównie spowodowane było niską prędkością wiatru w tych okresach i miało znaczący wpływ na ilość produkowanej energii. Średnie wydajności turbin wiatrowych utrzymywały się na poziomie 80% rocznie [32].

Ostatnim parametrem przedstawionym w publikacji jest średnia liczba obrotów na minutę wirnika. Na rys. 5 i 6 pokazano stosunek tego parametru do ilości wyprodukowanej energii w poszczególnych miesiącach dla obu turbin w latach 2016-2017. Stwierdzono, że im większa była liczba obrotów wirnika na minutę, tym więcej turbina wyprodukowała energii. Stosunki tych dwóch parametrów nie są zbieżne, bowiem nie zmieniają się w takim samym stopniu z miesiąca na miesiąc.

Podsumowanie

Wyniki rozpoznania literaturowego oraz pomiary technologiczne parametrów pracy i efektywności produkcji energii elektrycznej przez dwie turbiny wiatrowe, pochodzące z firmy Enercon GmbH o mocy znamionowej po 0,5 MW każda, pozwoliły sformułować kilka wniosków.

Energetyka wiatrowa przez ostatnie 20 lat była najbardziej dynamicznie rozwijającą się gałęzią OZE w Polsce. Bez dalszego wzrostu jej skali prawdopodobnie nie będzie możliwe spełnienie wymagań stawianych Polsce w pakiecie

energetyczno-klimatycznym Unii Europejskiej (pakiet 3 x 20), który zakłada trzy cele, tj. ograniczenie o 20% emisji gazów cieplarnianych w stosunku do poziomu z 1990 r., 20% udział energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii w UE oraz zwiększenie o 20% efektywności energetycznej [1, 25, 30, 32]. W Polsce skutek zmian prawnych energetyka wiatrowa od 2016 roku jest fazy stagnacji [33], ale w perspektywie długoterminowej można oczekiwać jej ponownego rozwoju, w tym w województwie łódzkim.

Głównymi oddziaływaniami na środowisko, które niesie energetyka wiatrowa są: emisja hałasu i infradźwięków, efekt migotania cieni, pole elektromagnetyczne, negatywny wpływ na krajobraz oraz zagrożenia dla awifauny.

Negatywna opinia o energetyce wiatrowej spowodowana jest głównie brakiem wystarczającej o niej wiedzy w społeczeństwie. Wiele osób powołuje się na badania sprzed kilkunastu lat, kiedy to turbiny były instalowane bez analizy ich wpływu na otoczenie, co nie ma miejsca obecnie. W ostatnich latach nastąpił duży postęp techniczny, który skutecznie zniwelował większość negatywnych skutków pracy instalacji wiatrowych.

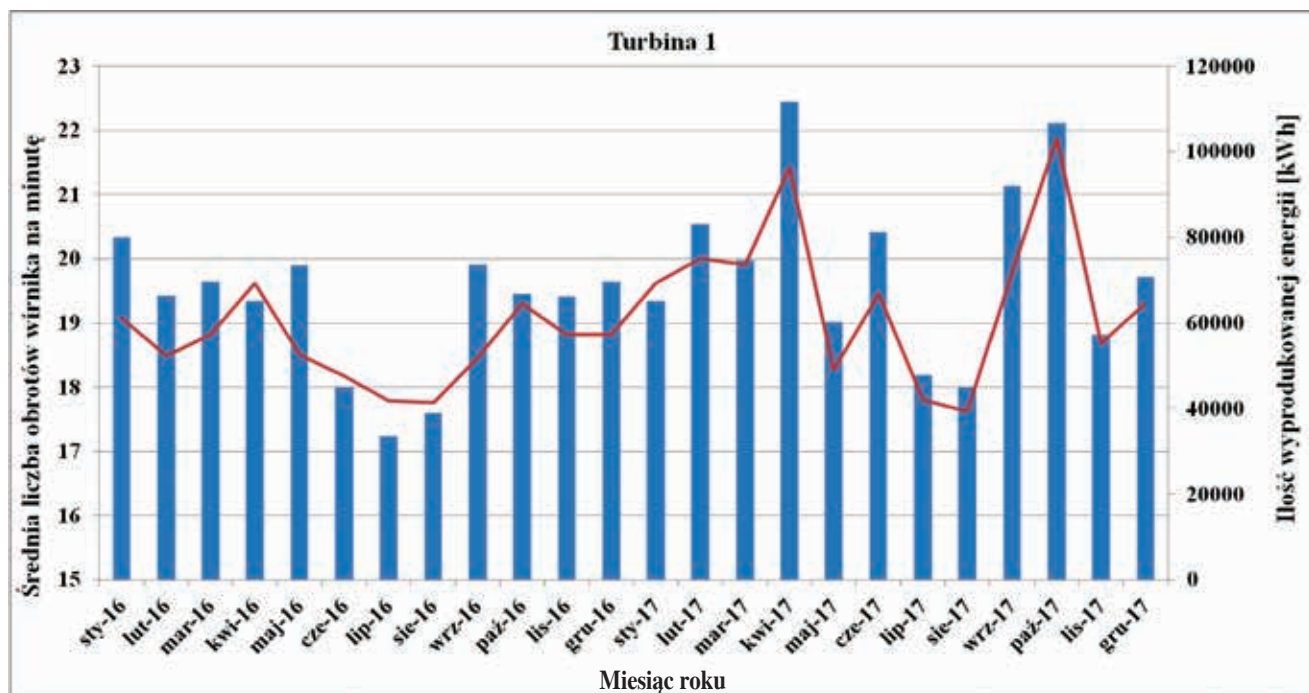
Obydwie badane turbiny wiatrowe pracowały z porównywalną wydajnością na poziomie 80% w latach 2016-2017. Turbina 2 wyprodukowała w tym okresie około 80 000 kWh energii więcej niż turbina 1.

Produkcja energii elektrycznej była największa w kwietniu oraz październiku, zaś najmniejsza w okresie letnim, co głównie zależało od prędkości wiatru.

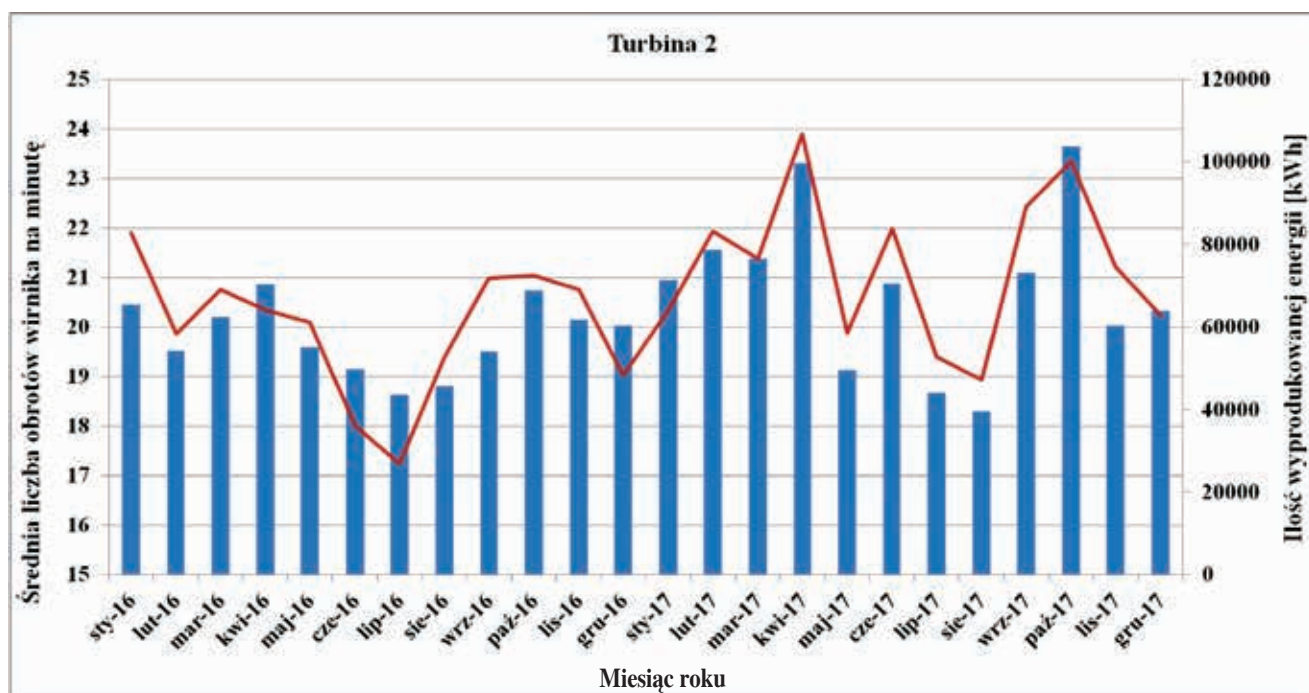
Ilość wyprodukowanej energii elektrycznej w jednostce czasu była powiązana ze średnią liczbą obrotów wirnika oraz liczbą godzin pracy turbin wiatrowych, w dużym stopniu zależnych od prędkości wiatru.

Literatura

- [1] Wiśniewski G., Michałowska-Knapp K., 2010, Wizja rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 r., *Czysta Energia*, 4, 24-28.
- [2] Ciechanowicz W., Szczukowski S., 2008, Energia wiatrów w integracji z ogniwami paliwowymi, *Aura*, 8, 8-10.
- [3] Mroczek B., Kurpas D., Klera M., 2013, Sustainable Development and Wind Farms, *Problemy Ekorozwoju/Problems of Sustainable Development*, 8(2), 113-122.
- [4] Jarzyna W., Pawłowski A., Viktorovich N., 2014, Technological development of wind energy and compliance with the requirements for sustainable development, *Problemy Ekorozwoju – Problems of Sustainable Development*, 9(1), 167-177.
- [5] Van den Berg G. P., 2004, Effects of the wind profile at night on wind turbine sound, *Journal of Sound and Vibration*, 277(4-5), 955-970.
- [6] Żarczyński A., Niedbalska M., Zaborowski M., 2016, Ocena efektywności energetycznej dwóch turbin wiatrowych firmy Vensys, *Eliksir*, 2(4), 27-31.
- [7] Witowski A., 2016, Wielka Brytania inwestuje w energetykę wiatrową, *Przem. Chem.*, 95(9), 1670.
- [8] Grela J., 2012, O kierunku przebudowy gospodarki wodnej w Polsce, *Aura*, 11, 7-9.
- [9] Góralczyk I., Tytko R., 2017, Energetyka wodna (1), *Aura*, 6, 16-20.



Rys. 5. Zależność ilości wytworzonej energii przez turbinę 1 w latach 2016-2017 w funkcji średniej minutowej liczby obrotów wirnika



Rys. 6. Zależność ilości wytworzonej energii przez turbinę 2 w latach 2016-2017 w funkcji średniej minutowej liczby obrotów wirnika

[10] Żylicz T., 2017, Geotermia, Aura, 10, 20.

[11] Góralczyk I., Tytko R., Miłek M., 2017, Walka ze smogiem – ogrzewanie wodami geotermalnymi, Aura, 4, 5-8.

[12] Pietruszko S., 2018, Rynek fotowoltaiki w Polsce – 2017 r., Magazyn Fotowoltaika, 1, 6-11.

[13] Roger A., Messenger H., Amir A., Photovoltaic Systems Engineering, Fourth Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York 2017.

[14] Góralczyk I., Tytko R., 2015, Odnawialne źródła energii. Dobór parametrów instalacji fotowoltaicznych, Aura, 3, 27-29.

[15] Górski M., 2006, Biopaliwa w normach ISO, EN i PN, Przem. Chem., 85(12), 1632-1640.

[16] Prusek A., Tytko R., 2018, Odnawialne źródła energii. Biopaliwa, Aura, 10, 21-23.

[17] Sadek R., Chałupka K., Bawolak K., Dzwigaj S., 2015, Produkcja biodiesla w procesie transestryfikacji wyższych kwasów tłuszczowych zawartych w olejach roślinnych, Eliksir, 1, 23-25.

[18] Kowalska A., 2017, Charakterystyka roślin energetycznych jako potencjalnego surowca do produkcji biogazu, Eliksir, 1(5), 11-15.



- [19] Klemba K., 2015, Biogazownia jako potencjalne źródło zagrożeń emisjami odorowymi oraz działania prewencyjne, *Eliksir*, 2, 22-27.
- [20] Rosiak K., Klemba K., Żarczyński A., 2016, Technologie otrzymywania biometanu z biogazu, *Aura*, 1, 14-17.
- [21] Smolarek T., 2016, Kalkulator biogazowy jako użyteczne narzędzie do obliczeń wskaźników pracy biogazowni, *Eliksir*, 1(3), 52-55.
- [22] Kociołek-Belawejder E., Wilk Ł., 2011, Przegląd metod usuwania siarkowodoru z biogazu, *Przem. Chem.*, 90(3), 389-397.
- [23] Kardasz P., Bentkowska M., Błasiński T., Cieńciała M., Doscocz J., Haller P., Magdziak-Tokłowicz M., 2014, Stan odnawialnych źródeł energii w Polsce, *Aura*, 8, 8-11.
- [24] Praca zbiorowa, Mikołajuk H., Berent-Kowalska G., (red. kierujący), *Energia ze źródeł odnawialnych w 2016 roku*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2017, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/energia-ze-zrodel-odnawialnych-w-2016-roku,3,11.html> [dostęp 23.10.2018].
- [25] Stefaniak A., 2017, Odnawialne źródła energii jako perspektywa rozwoju polskich regionów, *Aura*, 1, 16-17.
- [26] Pedersen E., Wayne K., 2007, Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments, *Occupational and Environmental Medicine*, 64(7), 480-486.
- [27] Wuczyński A., Chylarecki P., Tryjanowski P., 2009, Ptaki a rozwój

- energetyki wiatrowej – aktualne problemy, *Chrońmy Przyrodę Ojczystą*, 65(5), 323-328.
- [28] Shephard D., Mc Bridge D., Welch D., Dirks K.N., Hill E.M., 2011, Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life, *Noise Health*, 13(54), 333-339.
- [29] Mitera M., 2018, Wpływ fal akustycznych o małych częstotliwościach na atrakcyjność terenów rekreacyjnych, *Aura*, 9, 3-5.
- [30] Projekt Polityki energetycznej Polski do 2050 roku, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, sierpień 2015.
- [31] Chmielowiec K., Firlić A., Piątek K., 2012, Analiza pracy wybranych farm wiatrowych w Polsce. Część I. Efektywność produkcji energii elektrycznej, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 80(2), 14-17.
- [32] Wągrowski G., Praca dyplomowa inżynierska, IChOiE, Politechnika Łódzka, Łódź 2018.
- [33] Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych, *Dz. U.* 2016, poz. 961.
- [34] Portal wind-turbine-models, Enercon E-40/5.40, <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/67-enercon-e-40-5.40>, dostęp 07.11.2018.
- [35] Portal wind-turbine-models, Enercon E-82 E2 2.000, <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/835-enercon-e-82-e2-2.000>, dostęp 07.11.2018. ●

Joanna Chudzik

joanna.chudzik@edu.p.lodz.pl

Instytut Technologii Polimerów i Barwników, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Nanodrutu metaliczne – rozmiar ma znaczenie

Wstęp

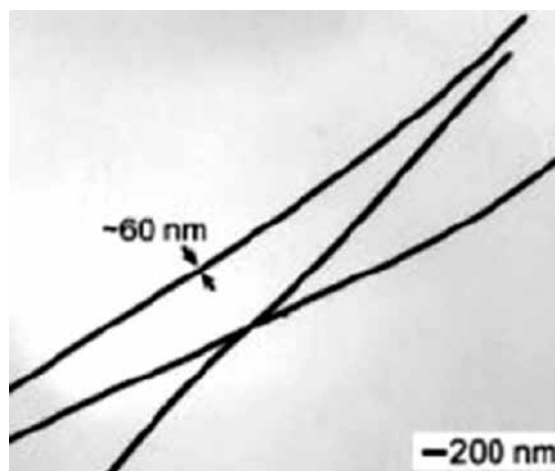
Najbardziej ogólna definicja nanostruktur opisuje je jako struktury, których przynajmniej jeden wymiar jest mniejszy od 100 nm. Idąc za tym duża powierzchnia granic rozdziału ma wpływ na reaktywność, aglomerację oraz dyfuzję, będące głównymi cechami charakterystycznymi nanostruktur. Oczywiście o określeniu materiału przedrostkiem nano nie decyduje jedynie rozmiar cząstek. Dużo ważniejszymi cechami są tutaj wymienione wcześniej aglomeracja, reaktywność oraz duża powierzchnia właściwa, mająca wpływ na takie parametry jak twardość, energia układu oraz wytrzymałość (np. wytrzymałość na rozciąganie).

Same nanodrutu (ang. Nanowires, w skrócie oznaczane jako NWS) definiuje się jako struktury, w których średnica jest rzędu nanometrów. W odróżnieniu od nanorurek, nie są one puste w środku. Jeden wymiar, jakim jest w tym przypadku długość, jest z kolei nieograniczony. W praktyce, typowe nanodrutu posiadają współczynnik kształtu, tj. stosunek długości do szerokości wielkości 100 lub więcej. Biorąc to wszystko pod uwagę można określić nanodrutu mianem nanomateriałów jednowymiarowych.

Klasyfikacja

Nanodrutu można klasyfikować biorąc pod uwagę wiele

różnych właściwości. Najprostszym podziałem jest ten, odwołujący się do właściwości przewodzących, na nanodrutu metaliczne (np. Au, Ag, Ni, Pt, Cu), półprzewodzące (jak InP, GaN, Si, InAs) oraz dielektryki (np. TiO₂, SiO₂) [1]. W zależności od długości można również wyróżnić nanopręty, czyli krótszą formę nanodrutów, do których należą również nanopateczki i nanowłókna o większej długości i przekroju poprzecznym (średnica nadal jest mniejsza od długości 100 razy) [2].



Rys. 1. Obraz TEM nanodrutów srebra [3]

Pomimo tego, że metale są znane ludziom od wieków, to produkcja ich w różnych formach, na dodatek w nanoskali otwiera przed naukowcami nowe możliwości. Nanodrutu metaliczne, o nowych właściwościach fizycznych i chemicznych można wykorzystywać w prężnie rozwijających się gałęziach przemysłu i nauki: urządzeniach elektronicznych z ekranami dotykowymi, fotowoltaice, fotonice i urządzeniach magazynujących energię [4].

Metody badawcze

Zaletą nanodrutów są stosunkowo proste metody badawcze, służące do badania ich morfologii i struktury, odgrywających ważną rolę we właściwościach tych nanostruktur. Bardzo często w tym celu wykorzystuje się metody fizyczne, w szczególności mikroskopowe, jak na przykład skaningowa mikroskopia tunelowa (STM), elektronowa mikroskopia skaningowa (TEM) oraz skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM). Czasem stosuje się również technikę dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego (XRD). Z powodu specyficznych rozmiarów NWs – porównywalnych lub (w większości) znacznie mniejszych od długości światła widzialnego, metody tradycyjnej mikroskopii optycznej zwykle nie mogą zostać zastosowane.

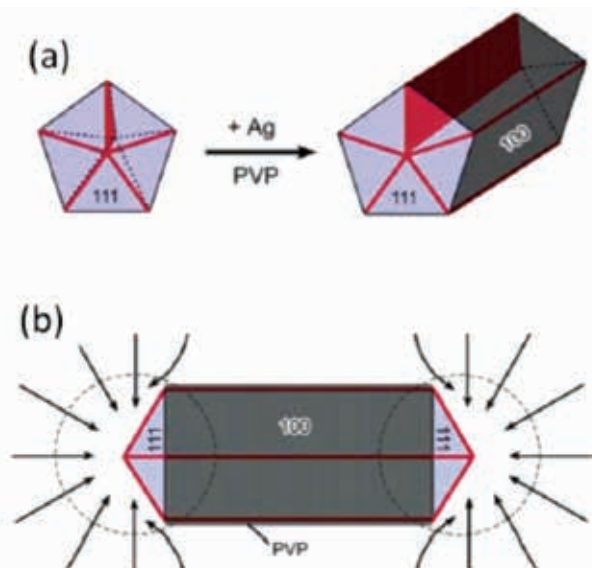
Otrzymywanie



Fot. 1. Roztwór AgNWs w etanolu [5]

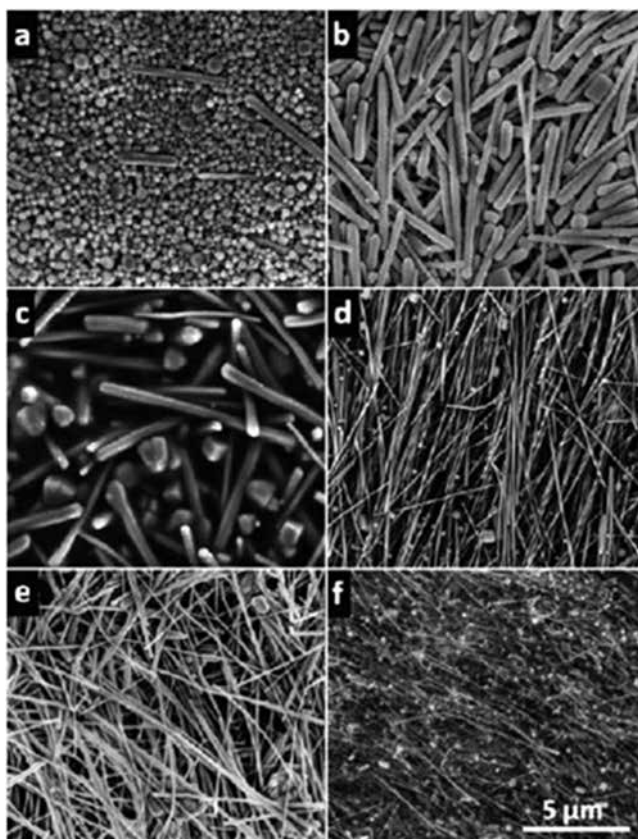
Również otrzymywanie ich nie przysparza większych problemów. Wynaleziona już jakiś czas temu metoda syntezy przy pomocy redukcji chemicznej w polialkoholach pozwala w prosty sposób otrzymać dwa najczęściej stosowane rodzaje nanodrutów metalicznych: nanodrutu srebra (AgNWs) [6] oraz nanodrutu miedzi (CuNWs) [7]. Przykładowo, otrzymywanie AgNWs tą metodą polega na redukcji chemicznej nieorganicznej soli w obecności polialkoholi

w podwyższonej temperaturze. W tym przypadku używa się glikolu etylenowego jako rozpuszczalnika i reduktora, poliwinylpirolidonu (PVP) jako środka stabilizującego oraz azotanu(V) srebra jako źródła jonów srebra. Dodatkowo dodaje się chlorek sodu, którego zadaniem jest spowalniać reagowanie srebra, co przekłada się na większą wydajność powstawania nanodrutów srebrnych. W pierwszej kolejności wykonuje się w osobnych naczyniach roztwory: PVP w glikolu etylenowym z dodatkiem NaCl oraz roztwór azotanu(V) srebra w glikolu etylenowym. Pierwszy z nich ogrzewa się do temperatury 170°C, a drugi dodaje do niego powoli przy pomocy pompy strzykawkowej, stosując przy tym mieszanie przy pomocy mieszadła magnetycznego. Po dodaniu całości roztworu prekursora srebra całość grzeje się jeszcze przez pewien czas, a następnie schładza do temperatury pokojowej i przemywa przy pomocy acetonu (dwa razy), by na sam koniec przemyć i zostawić w postaci roztworu w etanolu. Wzrost nanodrutów ma miejsce w wyniku zarodkowania nanocząstek srebra powstałych przy wprowadzaniu do roztworów jonów srebra. PVP adsorbuje się na ścianach srebra przy pomocy tlenu w kierunku [100], uniemożliwiając wzrost cząstek w tym kierunku, wynikiem czego wzrost zachodzi tylko w kierunku ściany [110], a więc powstaje struktura drutu. Wraz z postępem takiej reakcji, niestabilne termodynamicznie nanocząstki ulegają rozpuszczeniu, na skutek czego ma miejsce wzrost stabilnych struktur. Zjawisko to nazywane jest dojrzewaniem Ostwalda. Na długość otrzymanych nanodrutów można wpływać poprzez zmianę takich parametrów jak: temperatura procesu, czas procesu, szybkość dodawania prekursora, ilość dodanego PVP, ilość dodanego NaCl [3].



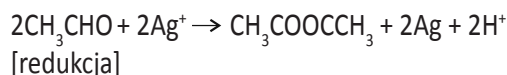
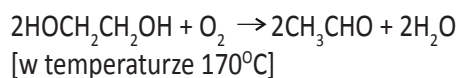
Rys. 2. Schemat wzrostu nanodrutów srebrnych w reakcji redukcji chemicznej w polialkoholach [8]





Fot. 2. Porównanie morfologii AgNWs (zdjęcia SEM) otrzymanych w wyniku redukcji chemicznej w polialkoholach w temperaturach: (a) 110, (b) 130, (c) 150, (d) 170, (e) 190, (f) 200°C [6]

Schematycznie syntezę tę można przedstawić przy pomocy równań [3]:

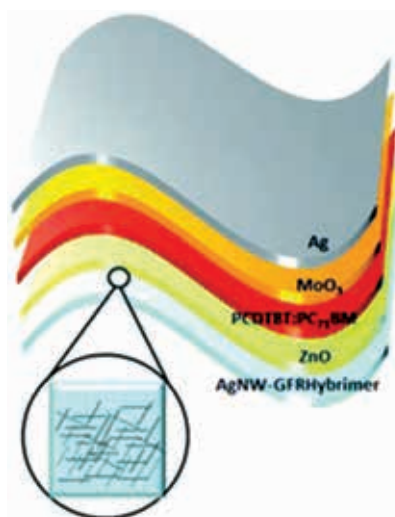


Powyższa równowaga między jonami a chlorkiem srebra pozwala zmniejszyć ilość srebra znajdującego się w danym momencie w roztworze, dzięki czemu nie aglomeruje się ono w formie metalicznej i może brać udział w syntezie AgNWs. NaCl nie jest jedyną możliwą do tego zastosowania solą, jednakże stosuje się ją najczęściej. Równie dobrze mogą to być: $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, CuCl, CuCl_2 [3].

Zastosowania

Nanodrutki metaliczne są już szeroko stosowane w praktyce, a co więcej, wciąż trwają badania nad nowymi możliwościami ich wykorzystania. Przykładowo [5, 8-16]:

- AgNWs – elektronika, optyka, elektrody przezroczyste, fotonika, kataliza, ogniwa paliwowe/słoneczne, tusze, folie przezroczyste, baterie;
- CuNWs – elektronika, elektrody przezroczyste, kataliza, ogniwa paliwowe/słoneczne, folie przezroczyste;
- AuNWs – elektronika, ogniwa paliwowe/słoneczne, SERS;
- NiNWs – elektronika, kataliza, zastosowania wymagające właściwości magnetycznych, czujniki;
- CoNWs – zastosowania wymagające właściwości magnetycznych, inne;
- PtNWs – elektronika, optyka, kataliza, ogniwa paliwowe/słoneczne, zastosowania wymagające właściwości magnetycznych;
- WNWs – elektronika, elektrody przezroczyste, kataliza, zastosowania wymagające właściwości magnetycznych, czujniki;
- PdNWs – kataliza, ogniwa paliwowe/słoneczne;
- SnNWs – elektrody przezroczyste, baterie;
- RuNWs – baterie.



Rys. 3. Schematyczna ilustracja konstrukcji elastycznego organicznego ogniwa słonecznego [17]

Jak można zobaczyć, zastosowania dotyczą nie tylko nanodrutów z najpopularniejszych metali, ale również i z tych mniej znanych i przeważnie rzadziej stosowanych. Mimo to, najwięcej uwagi w badaniach poświęca się AgNWs, a to przez wzgląd na ich bycie najbardziej obiecującymi zamiennikami ITO.

Podsumowanie

Podsumowując, nanodrutki metaliczne, dzięki swoim charakterystycznym właściwościom znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Stanowią obiecujący materiał do pracy nad przyszłościowymi rozwiązaniami, na które

dotąd nauka nie mogła sobie pozwolić z braku odpowiednich struktur chemicznych. Co więcej, niektóre z metod otrzymywania NWs są dostatecznie wydajne, by można je było stosować na szeroką skalę przemysłową. Dzięki swojej strukturze 1D nanodrutę są przedmiotem badań, mających poskutkować zastosowaniem w urządzeniach biomedycznych. Choć ciągle istnieją w cieniu nanorurek, budzą coraz większe zainteresowanie naukowców, obiecując wiele innowacyjnych zastosowań, ograniczonych jedynie przez ludzką wyobraźnię.

Literatura

- [1] Zwiller V., Akopian N., van Weert M., van Kouwen M., Perinetti U., Kouwenhoven L., Algra R., Gomez Rivas J., Bakkers E., Patriarche G., Liu L., Harmand J.C., Kobayashi Y., Motohisa J., 2008, Optics with single nanowires, *C. R. Phys.*, 9, 804-815.
- [2] Żelichowska K., *Nanotechnologia w chemii i medycynie*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2014.
- [3] Tang X., Tsuji M., *Syntheses of Silver Nanowires in Liquid Phase*, w: *Nanowires Science and Technology*, Lupu N. (red.), IN-TECH, Croatia, 2010.
- [4] Kline T.R., Tian M., Wang J., Sen A., Chan M.W., Mallouk T.E., 2006, Template-Grown Metal Nanowires, *Inorg. Chem.*, 45, 7555-7565.
- [5] Hu L., Kim H.S., Lee J.Y., Peumans P., Cui Y., 2010, Scalable Coating and Properties of Transparent, Flexible, Silver Nanowires Electrodes, *ASC Nano*, 4, 2955-2963.
- [6] Coskun S., Aksoy B., Unalan H.E., 2011, Polyol Synthesis of Silver Nanowires: An Extensive Parametric Study, *Cryst. Growth Des.*, 11, 4963-4969.
- [7] Park B.K., Jeong S., Kim D., Moon J., Lim S., Kim J.S., 2007,

Synthesis and size control of monodisperse copper nanoparticles by polyol method, *J. Colloid Interface Sci.*, 311, 417-424.

- [8] Jiu J., Sugauma K., 2016, *Metallic Nanowires and Their Application*, *IEEE T. Comp. Pack. Man.*, 6, 1733-1751.
- [9] Song Y.J., Chen J., Wu J.Y., Zhang T., 2014, Applications of Silver Nanowires on Transparent Conducting Film and Electrode of Electrochemical Capacitor, *J. Nanomater.*, ID 193201.
- [10] van de Groep J., Spinelli P., Polman A., 2012, Transparent Conducting Silver Nanowire Networks, *Nano Lett.*, 12, 3138-3144.
- [11] Zeng X.Y., Zhang Q.K., Yu R.M., Lu C.Z., 2010, A New Transparent Conductor: Silver Nanowire Film Buried at the Surface of a Transparent Polymer, *Adv. Mater.*, 22, 4484-4488.
- [12] Li J., Cho S.M., Chae H., 2012, Electro Spray Deposition of Silver Nanowire Films for Transparent Electrode, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 12, 5981-5985.
- [13] Cho S., Kang S., Pandya A., Shanker R., Khan Z., Lee Y., Park J., Craig S.L., Ko H., 2017, Large-Area Cross-Aligned Silver Nanowire Electrodes for Flexible, Transparent and Force-Sensitive Mechanochromic Touch Screens, *ACS Nano*, 11, 4346-4357.
- [14] Langley D.P., Lagrange M., Giusti G., Bréchet Y., Nguyen N.D., Bellet D., 2014, Metallic nanowire networks: effects of thermal annealing on electrical resistance, *Nanoscale*, 6, 13535-13543.
- [15] Johnson D., Plastic OLEDs Just Got a Bump from Silver Nanowires, <https://spectrum.ieee.org/nanoclast/semiconductors/nanotechnology/plastic-oleds-just-got-abump-from-silver-nanowires>, 24.08.2013.
- [16] Wadler D., Nanowire Batteries: The Next Step in Battery Evolution, <https://www.allaboutcircuits.com/news/nanowire-batteries-the-next-step-in-battery-evolution/>, 11.05.2016.
- [17] Jin J., Lee J., Jeong S., Yang S.C., Ko J.H., Im H.G., Baek S.W., Lee J.Y., Bae B.S., 2013, High-performance hybrid plastic films: a robust electrode platform for thin-film optoelectronics, *Energy Environ. Sci.*, 6, 1811-1817. ●

Monika Żygo, Gabriela Gaj, Sylwia Wróbel

monika.zygo@edu.p.lodz.pl

Institut Technologii Polimerów i Barwników, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

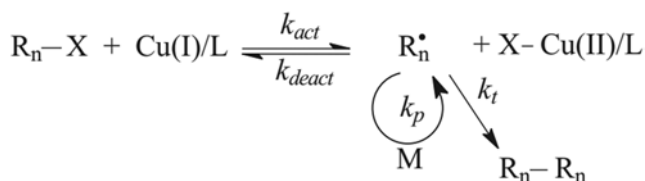
Polimeryzacja rodnikowa z przeniesieniem atomu jako narzędzie do syntezy zaawansowanych materiałów

Polimeryzacja rodnikowa z przeniesieniem atomu (ATRP, *ang. atom transfer radical polymerization*) należy do grupy polimeryzacji rodnikowych z odwracalną dezaktywacją (RDRP, *ang. reversible deactivation radical polymerization*). Składa się z następujących etapów: inicjacji, propagacji i znacznie ograniczonego etapu terminacji. Etap inicjacji jest

bardzo szybki, jego szybkość jest znacznie większa od szybkości etapu propagacji ($R_i \gg R_p$). Umożliwia to generowanie wszystkich łańcuchów w początkowym etapie inicjacji. Tak jak we wszystkich innych mechanizmach RDRP czas życia pojedynczego łańcucha w ATRP jest znacznie wydłużony (nawet do kilku godzin), w porównaniu z tradycyjną poli-



meryzacją wolnorodnikową, gdzie czas ten wynosi około 1 sekundy. Wynika to z ustalonego stanu równowagi między formą aktywną, którą jest rodnik, a formą uśpioną, która jest zdolna do wzbudzenia [1, 2]. Schematycznie mechanizm ATRP został przedstawiony na rys.1.



Rys. 1. Schemat polimeryzacji ATRP

W polimeryzacji ATRP układ inicjujący złożony jest z halogenu alkilowego (R_n-X) i kompleksu metalu przejściowego na niższym stopniu utlenienia, którym zazwyczaj jest chlorek lub bromek miedzi(I) (np. $Cu(I)$ -ligand (L)). Jako ligandy (L) w kompleksie występują wielofunkcyjne pochodne amin i pirydyn. Metal przejściowy na niższym stopniu utlenienia pełni rolę aktywatora reagującego ze stałą szybkości reakcji aktywacji k_{act} z rosnącymi łańcuchami polimeru (R_n) zakończonymi atomem fluorowca (X), czyli z R_n-X . Atom chlorowca (X) zostaje przeniesiony do kompleksu katalizatora, czemu towarzyszy zwiększenie stopnia utlenienia metalu o jeden. W wyniku reakcji tworzy się kompleks $X-Cu(II)/L$ (dezaktywator) i aktywny rodnik R_n^* . Rodnik może dalej ulegać propagacji, przyłączając monomer (M) ze stałą szybkości k_p , która jest zależna od rodzaju monomeru. Może też zostać dezaktywowany w reakcji z $X-Cu(II)/L$ ze stałą szybkości k_{deact} i przejść w stan uśpionia, w wyniku czego odtwarza się $Cu(I)-L$ i wydłuża łańcuch polimeru zakończony fluorowcem. Rodniki mogą również ulegać terminacji na drodze rekombinacji ze stałą szybkości k_t . Towarzyszy temu kumulowanie dezaktywatora. Proces aktywacji/dezaktywacji łańcucha ulega wielokrotnemu powtarzaniu, a krotność tego procesu jest uzależniona od aktywności i stężenia użytego katalizatora oraz monomeru. Równowaga reakcji jest przesunięta w kierunku formy uśpioniej, dzięki czemu wzrost pojedynczego łańcucha jest powolny i stopniowy. W rezultacie możliwa jest kontrola długości łańcucha, czyli ciężaru cząsteczkowego polimeru (MW) oraz jego rozrzutu, a także jego składu, architektury pojedynczego łańcucha oraz jego funkcyjności [1, 2].

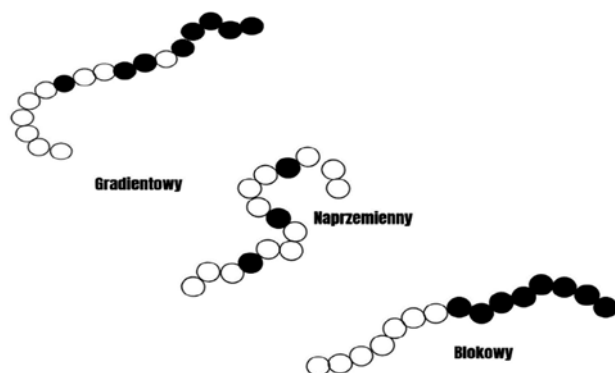
Precyzyjna kontrola nad składem polimeru, architekturą łańcucha i jego funkcyjnością umożliwia syntezę dobrze zdefiniowanych polimerów liniowych, jak również polimerów rozgałęzionych, w tym o architekturze gwiazd czy też gęsto szczepionych szczotek polimerowych. Poprzez wykorzysta-

nie ATRP można także otrzymać nieorganiczno-organiczne materiały hybrydowe oraz biokoniugaty [3].

Bardzo ciekawą z punktu widzenia potencjału aplikacyjnego grupą materiałów są różnego typu liniowe kopolimery, na przykład gradientowe, blokowe i periodyczne (rys. 2). Otrzymanie dobrze zdefiniowanych kopolimerów blokowych wymaga spełnienia dwóch warunków, mianowicie skutecznej inicjacji oraz zachowania funkcyjności końca łańcucha, czyli tzw. „żyjącego” charakteru łańcucha [3]. Dodatkowym narzędziem wykorzystywanym w ATRP jest wymiana atomu halogenu zapewniająca wyjątkowo skuteczne przedłużenie łańcucha [4]. Możliwa jest również synteza kopolimerów składających się z bloków, otrzymanych na drodze polimeryzacji według różnych mechanizmów, gdyż reakcje te nie zakłócają się wzajemnie i są kontrolowane niezależnie przez różne katalizatory. Na przykład ATRP może być przeprowadzona równocześnie na przykład z metatyczną polimeryzacją z otwarciem pierścienia (ROMP, *ang. ring-opening metathesis polymerization*) [5] lub anionową polimeryzacją z otwarciem pierścienia (AROP, *ang. anionic ring-opening polymerization*) [6].

Kopolimery blokowe znajdują zastosowanie jako termoplastyczne elastomery, systemy dostarczania leków, powłoki, materiały uszczelniające, matryce czy membrany [7].

Kopolimery gradientowe otrzymywane są poprzez spontaniczną kopolimeryzację, opierając się na różnicy reaktywności użytych komonomerów lub w sposób kontrolowany

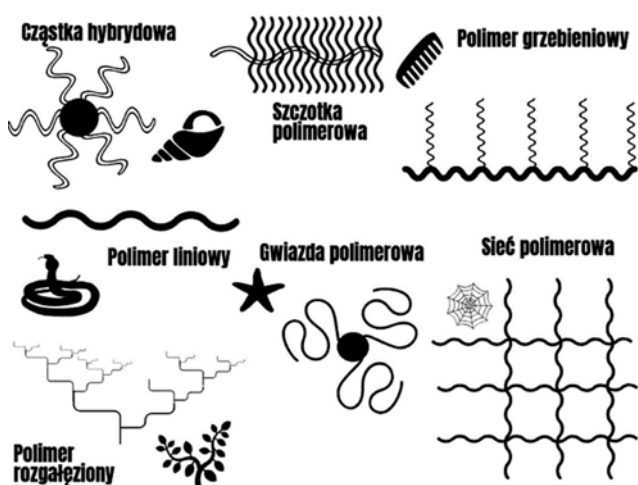


Rys. 2. Przykładowe struktury kopolimerów

poprzez ciągłe dodawanie do mieszaniny reakcyjnej jednego z monomerów. Ten typ kopolimerów, ze względu na swoje właściwości może być wykorzystywany np. w materiałach dźwiękochłonnych i antywibracyjnych, surfaktantach oraz blendach polimerowych [3]. Za pomocą ATRP możliwe jest także otrzymywanie kopolimerów periodycznych, do syntezy których stosuje się komonomery silnie elektronokceptorowe oraz silnie elektronodonorowe [8]. Alternatywnie mogą być one syntezowane poprzez polimeryzację

sekwencyjne lub cyklopolimeryzacje, jednakże skutkuje to niską masą cząsteczkową (MW) oraz szerokim rozrzutem mas cząsteczkowych (\bar{M}) [9].

Polimery o nieliniowej architekturze łańcucha stanowią bardzo liczną grupę materiałów otrzymywanych przez ATRP. Zróżnicowana topologia (architektura) pojedynczego łańcucha może być generowana na etapie syntezy polimeru poprzez zmianę ilości grup funkcyjnych przypadających na jedną cząsteczkę inicjatora. Przy jedno – lub dwufunkcyjnych związkach otrzymywane są polimery liniowe, rosnące odpowiednio w jednym lub w dwóch kierunkach, przy czym w drugim przypadku łatwiej uzyskać polimer o wyższej MW. Zastosowanie inicjatorów wielofunkcyjnych prowadzi do otrzymania struktur nieliniowych, takich jak kopolimerów szczepionych czy gwiazdzistych (rys. 3). Jednym z przykładów kopolimerów szczepionych są tzw. szczotki polimerowe. Są to układy, w których do łańcucha stanowiącego szkielet główny przyłączone są z dużą gęstością łańcuchy innego polimeru, pełniące rolę łańcuchów bocznych. Otrzymanie ich jest możliwe na trzy sposoby: na drodze „szczepienia z” substratu (*ang. grafting-from*), które jest wykorzystywane najczęściej; „szczepienia do” substratu (*ang. grafting-onto*) oraz „szczepienia przez” grupy zdolne do polimeryzacji (*ang. grafting-through*) [3]. Oprócz szczotek o jednolitej gęstości łańcuchów bocznych wzdłuż szkieletu głównego można otrzymywać struktury gradientowe, typu core-shell, gwiazdziste, cykliczne, zawierające w swojej budowie szczotki [10, 11]. W ich strukturę często wpisuje się dodatkowe grupy funkcyjne na przykład grupy wrażliwe na pH, światło lub temperaturę [12]. Szczotki o odpowiedniej budowie chemicznej mogą wykazywać zdolność do samoorganizacji w układy o zróżnicowanej morfologii. Spektrum ich zastosowań jest szerokie, na przykład matryce, organiczne nanorurki, nanosieci [13], czy supermiękkie elastomery [14].



Rys. 3. Architektura łańcucha

Funkcyjność polimerów, tj. ilość grup funkcyjnych, które mogą znajdować się wzdłuż bądź na końcu łańcucha, jest także istotnym parametrem definiującym ich właściwości. Do syntezy dobrze zdefiniowanych polimerów zawierających wybrane grupy funkcyjne wykorzystać można trzy strategie, a mianowicie poprzez wykorzystanie funkcjonalnego inicjatora w syntezie ATRP, przez bezpośrednią polimeryzację funkcjonalnych monomerów lub poprzez wymianę grup końcowych łańcucha [15]. Inicjatory lub monomery użyte do wprowadzenia określonych grup funkcyjnych w strukturę łańcucha mogą być odpowiedzialne za hydrofilowość/hydrofobowość lub polarność polimeru oraz elastyczność otrzymanego materiału. Są one niezwykle istotne w kontekście potencjalnych zastosowań polimerów. Przykładowo, za pomocą inicjatorów zawierających grupy biodegradowalne można otrzymać materiały szeroko wykorzystywane w biomedycynie [16, 17].

Stopień rozgałęzienia łańcucha polimerowego można zwiększyć poprzez dodatek tzw. inimerów, czyli związków, które pełnią jednocześnie funkcję monomeru i inicjatora. Na drodze ATRP monomerów metakrylowych lub akrylowych z inicjatorami haloestrowymi zsyntezowano homopolimery, których stopień rozgałęzienia wynosił nawet 50%, w zależności od warunków reakcji i struktury monomeru. Rozgałęzione polimery są również otrzymywane przez kopolimeryzację z monomerami diwinyłowymi [18]. Kontrolowana polimeryzacja rodnikowa z przeniesieniem atomu pozwala na uzyskanie biodegradowalnych hiper-rozgałęzionych polimerów, poprzez wprowadzenie biodegradowalnego czynnika łączącego pomiędzy inicjatorem ATRP a grupą winylową [19].

Innymi często stosowanymi materiałami są żele polimerowe. W przeciwieństwie do klasycznej polimeryzacji rodnikowej, gdzie występuje problem z żelowaniem przy małej konwersji monomeru do polimeru, prowadzący do uzyskania niejednorodnej sieci, w przypadku ATRP punkt żelowania i tworzenie sieci można precyzyjnie kontrolować [20]. Punkt żelowania zależy nie tylko od początkowej stechiometrii reagentów, ale także od funkcyjności i reaktywności czynnika sieciującego, jak i od momentu jego dodania do mieszaniny reakcyjnej. Na przykład, jeśli związek diwinyłowy jest dodany na końcu polimeryzacji, tworzą się struktury gwiazdziste, natomiast jeśli jest dodany na początku reakcji i w dużym stopniu rozcieńczenia, to powstają cząstki, które mogą pełnić rolę wielofunkcyjnego jądra, z którego można zsyntezować ramiona gwiazdy [21].

Nanozele są szczególną grupą materiałów usieciowanych, otrzymywanych z wykorzystaniem ATRP. Mogą być one syntezowane poprzez usieciowanie polimeru na poziomie



pojedynczych łańcuchów zdyspergowanych w odpowiednim medium, na przykład za pomocą biodegradowalnego czynnika sieciującego. Biodegradowalność czynnika sieciującego umożliwia rozpad nanożelu do krótkich łańcuchów i w konsekwencji uwolnienie jego zawartości, jeśli była taka uprzednio wprowadzona. Takie nanożele mają potencjalne zastosowania m.in. w systemach dostarczania leków do organizmu [22].

ATRP okazało się również bardzo użytecznym narzędziem w syntezie materiałów hybrydowych. Do syntezy tego typu materiałów bardzo często używa się polimeryzacji rodnikowej inicjowanej z powierzchni ATRP (SI-ATRP, *ang. surface-initiated ATRP*). SI-ATRP poprzedzone jest etapem przyłączenia inicjatora ATRP do powierzchni, z której ma być otrzymany polimer. Procesy polimeryzacji prowadzi się z powierzchni o zróżnicowanej geometrii, tj. z powierzchni wklęsłej, wypukłej lub płaskiej. Charakter chemiczny, rodzaj grup funkcyjnych występujących na powierzchni modyfikowanej cząstki definiuje sposób nanoszenia inicjatora. Na przykład do modyfikacji krzemionki lub utlenionych powierzchni krzemowych wykorzystuje się chlorosilany lub alkoksylany, do których następnie przyłącza się inicjator ATRP. W przypadku cząstek złota stosuje się inicjatory zawierające w swej strukturze grupy tiolowe i disiarczkowe, zaś dla cząstek tlenku żelaza – karboksylany czy fosfoniany [3]. Gęstość szczepienia może osiągnąć wartość 1 łańcucha/nm². Tak gęsto szczepione łańcuchy polimerowe przyjmują konformację wyprostowanych łańcuchów, co powoduje, że w pewnym zakresie gęstości i długości łańcuchów, nie mają możliwości tworzenia splątania [23]. W rezultacie generowane są bardzo ciekawe właściwości takich układów.

Synteza materiałów hybrydowych jest dużym wyzwaniem, głównie ze względu na fakt dużego lokalnego stężenia inicjatora na powierzchni. Zachodzące bowiem nawet w niewielkim stopniu reakcje terminacji mogą prowadzić do utworzenia makroskopowego żelu. Zapobiega się temu poprzez przeprowadzenie reakcji na przykład przy dużych rozcieńczeniach, w miniemulsji [24] lub pod wysokim ciśnieniem [25]. Zaletą materiałów hybrydowych otrzymanych na drodze ATRP jest to, iż mogą synergicznie łączyć właściwości ich organicznych i nieorganicznych składników, a ponadto mogą wykazywać nowe, unikatowe cechy. Wykazano, iż szczotki polimerowe szczepione z płaskich powierzchni mają nadzwyczajne właściwości tribologiczne [26, 27]. Ponadto mogą zmieniać charakter z hydrofilowego na hydrofobowy, dzięki czemu znajdują zastosowanie jako powierzchnie samoczyszczące. Odpowiedni dobór ciężaru cząsteczkowego szczepionych łańcuchów na powierzch-

niach sferycznych umożliwia przekroczenie granicy splątania, w wyniku czego zmieniają się właściwości mechaniczne tych materiałów [28]. Niełatwiwe, jednoskładnikowe materiały hybrydowe mogą tworzyć wysoce uporządkowane struktury, dając elastyczne, opalizujące materiały, które znajdują zastosowanie jako farby fotoniczne [29]. Dodatkowo, cząstki hybrydowe mają potencjalne zastosowania w takich dziedzinach jak np.: optyka, elektronika, mechanika, jonika, biologia, medycyna, w celu wytworzenia np. membran, funkcjonalnych powłok, ogniw solarnych i paliwowych, katalizatorów, sensorów [3].

Inną bardzo energicznie rozwijającą się grupą materiałów, otrzymanych na drodze ATRP, są biokoniugaty. Zawierają one w swej budowie cząsteczki biologiczne, takie jak np. białka, kwasy nukleinowe czy węglowodany oraz łańcuchy organicznych polimerów [30-32]. Biokoniugaty mogą być otrzymywane z wykorzystaniem kilku strategii, bazujących na polimeryzacji ATRP, takich jak na przykład: synteza polimeru zawierającego grupy funkcyjne zdolne do wiązania się z produktem naturalnym, a następnie przeprowadzenie reakcji sprzęgania [33]; modyfikacja produktu naturalnego inicjatorem ATRP, a następnie polimeryzacja ATRP wybranego monomeru [34]; modyfikacja grupy końcowej ATRP, w sposób umożliwiający syntezę produktu naturalnego [35].

W reakcjach sprzęgania polimerów z białkami bardzo często wykorzystuje się reakcje zaliczane do tzw. chemii „click”. Są to reakcje, które biegną z dużą wydajnością, w stosunkowo łagodnych warunkach, jak na przykład reakcje łańcuchów polimerowych zakończonych N-maleimidem z grupą SH-cysteiny w białkach [31]. Inne podejście do syntezy tego typu hybryd polega na cykloaddycji azydku lub alkinu (AAC, *ang. azide/alkyne cycloaddition*). Istnieje również możliwość prowadzenia polimeryzacji ATRP z udziałem kwasów nukleinowych [33]. Koniugaty białek z polimerami otrzymanymi w reakcji ATRP mogą być kompleksowane z DNA czy siRNA [36]. Struktury hybrydowe z cząsteczkami biologicznymi o kontrolowanej degradacji wytworzone w wyniku ATRP mogą być używane jako transportery leków lub genów do organizmu [37, 38].

Podsumowując należy powiedzieć, że rozwój nowoczesnych materiałów polimerowych jest możliwy głównie dzięki precyzyjnej kontroli m.in. ciężaru cząsteczkowego oraz jego rozkładu, kształtu i architektury łańcucha (np. liniowe vs. rozgałęzione, szczotki polimerowe, sieci polimerowe) oraz jego składu (homo vs. kopolimery). Niewątpliwie, układ w którym przebiega polimeryzacja rodnikowa z przeniesieniem atomu można traktować jako skrzynkę z narzędziami do syntezy dobrze zdefiniowanych materiałów polimero-



wych (rys. 4). Poprzez dobór rodzaju monomeru, katalizatora, inicjatora i warunków prowadzenia reakcji można manipulować procesem tworzenia się makrocząsteczek polimerów. ATRP umożliwia „budowanie komponentów nanoświata” przypominających swoim kształtem elementy przyrody, np. gwiazda polimerowa – rozgwiazda, polimer liniowy – wąż, sieć polimerowa – pajęczyna (rys. 3, 4). Ponadto, ATRP może być z sukcesem stosowane również do otrzymywania organiczno-nieorganicznych materiałów hybrydowych i biokoniugatów.



Rys. 4. ATRP jako skrzynka z narzędziami do syntezy dobrze zdefiniowanych materiałów polimerowych

Autorzy składają podziękowania Narodowemu Centrum Nauki w Polsce za zapewnienie wsparcia finansowego w ramach projektu POLONEZ o nr UMO-2016/23/P/ST5/02131. Projekt realizowany w ramach programu POLONEZ, który finansowany jest ze środków przeznaczonych na program finansowania badań naukowych i innowacji UE "Horyzont 2020" na podstawie umowy nr 665778 o dofinansowanie działań "Marie Skłodowska-Curie".



Literatura:

- [1] Matyjaszewski K., 2012, Atom transfer radical polymerization: From mechanisms to applications, *Isr. J. Chem.*, 52, 206-220.
- [2] Matyjaszewski K., 2012, Atom transfer radical polymerization (ATRP): Current status and future perspectives, *Macromolecules*, 45, 4015-4039.
- [3] Matyjaszewski K., Tsarevsky N. V., 2014, Macromolecular engineering by atom transfer radical polymerization, *J. Am. Chem. Soc.*, 136, 6513-6533.
- [4] Peng C-H., Kong J., Seeliger F., Matyjaszewski K., 2011, Mechanism of halogen exchange in ATRP, *Macromolecules*, 44, 7546-7557.
- [5] Mecerreyes D., Moineau G., Dubois P., Jérôme R., Hedrick J.L., Hawker C.J., Malmström E.E., Trollsas M., 1998, Simultaneous Dual Living Polymerizations: A novel one-step approach to block and graft

copolymers, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 37, 1274-1276.

[6] Bielawski C. W., Louie J., Grubbs R.H., 2000, Tandem catalysis: Three mechanistically distinct reactions from a single ruthenium complex, *J. Am. Chem. Soc.*, 122, 12872-12873.

[7] Bates F. S., Fredrickson G. H., 1999, Block copolymers-designer soft materials, *Phys. Today*, 52, 32-38.

[8] Zamfir, M., Lutz, J. F., 2012, Ultra-precise insertion of functional monomers in chain-growth polymerizations, *Nat. Commun.*, 3, 1138.

[9] Satoh, K., Ozawa S., Mizutani M., Nagai K., Kamigaito M., 2010, Sequence-regulated vinyl copolymers by metal-catalysed step-growth radical polymerization, *Nat. Commun.*, 1, 6.

[10] Stals P. J. M., Li Y., Burdyńska J., Nicolaÿ R., Nese A., Palmans A.R.A., Meijer E.W., Matyjaszewski K., Sheiko S.S., 2013, How far can we push polymer architectures?, *J. Am. Chem. Soc.*, 135, 11421-11424.

[11] Lee H.-I., Matyjaszewski K., Yu S., Sheiko S.S., 2005, Molecular brushes with spontaneous gradient by atom transfer radical polymerization, *Macromolecules*, 38, 8264-8271.

[12] Lee H.-I., Pietrasik J., Sheiko S.S., Matyjaszewski K., 2010, Stimuli-responsive molecular brushes, *Prog. Polym. Sci.*, 35, 24-44.

[13] Rzayev J., 2012, Molecular bottlebrushes: New opportunities in nanomaterials fabrication, *ACS Macro Lett.*, 1, 1146-1149.

[14] Neugebauer D., Zhang Y., Pakula T., Sheiko S.S., Matyjaszewski K., 2003, Densely-grafted and double-grafted PEO brushes via ATRP. A route to soft elastomers, *Macromolecules*, 36, 6746-6755.

[15] Coessens V., Pintauer T., Matyjaszewski K., 2001, Functional polymers by atom transfer radical polymerization, *Prog. Polym. Sci.*, 26, 337-377.

[16] Bontempo D., Heredia K.L., Fish B.A., Maynard H.D., 2004, Cysteine-reactive polymers synthesized by atom transfer radical polymerization for conjugation to proteins, *J. Am. Chem. Soc.*, 126, 15372-15373.

[17] Qi K., Ma Q., Remsen E.E., Clark C.G., Wooley K.L., 2004, Determination of the bioavailability of biotin conjugated onto shell cross-linked (SCK) nanoparticles, *J. Am. Chem. Soc.*, 126, 6599-6607.

[18] Li Y., Armes S. P., 2005, Synthesis and chemical degradation of branched vinyl polymers prepared via ATRP: use of a cleavable disulfide-based branching agent, *Macromolecules*, 38, 8155-8162.

[19] Tsarevsky N. V., Huang J., Matyjaszewski K., 2009, Synthesis of hyperbranched degradable polymers by atom transfer radical (Co) polymerization of inimers with ester or disulfide groups, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, 47, 6839-6851.

[20] Gao H., Li W., Matyjaszewski K., 2008, Synthesis of Polyacrylate Networks by ATRP: Parameters influencing experimental gel points, *Macromolecules*, 41, 2335-2340.

[21] Li W., Yoon J.A., Zhong M., Matyjaszewski K., 2011, Atom transfer radical copolymerization of monomer and cross-linker under highly dilute conditions, *Macromolecules*, 44, 3270-3275.

[22] Min K., Gao H., Yoon J.A., Wu W., Kowalewski T., Matyjaszewski K., 2009, One-pot synthesis of hairy nanoparticles by emulsion ATRP, *Macromolecules*, 42, 1597-1603.

[23] Tsujii Y., Ohno K., Yamamoto S., Goto A., Fukuda T., 2006, Structure and properties of high-density polymer brushes prepared by surface-initiated living radical polymerization, *Adv. Polym.*, 197, 1-45.



[24] Bombalski L., Min K., Dong H., Tang C., Matyjaszewski K., 2007, Preparation of well-defined hybrid materials by ATRP in miniemulsion, *Macromolecules*, 40, 7429-7432.

[25] Pietrasik J., Hui C.M., Chaladaj W., Dong H., Choi J., Jurczak J., Bockstaller M.R., Matyjaszewski K., 2011, Silica-polymethacrylate hybrid particles synthesized using high-pressure atom transfer radical polymerization, *Macromol. Rapid Commun.*, 32, 295-301.

[26] Chen M., Briscoe W.H., Armes S.P., Klein J., 2009, Lubrication at physiological pressures by polyzwitterionic brushes, *Science*, 323, 1698-1701.

[27] Kobayashi M., Terayama Y., Hosaka N., Kaido M., Suzuki A., Yamada N., Torikai N., Ishihara K., Takahara A., 2007, Friction behavior of high-density poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) brush in aqueous media, *Soft Matter*, 3, 740-746.

[28] Choi J., Hui C.M., Pietrasik J., Dong H., Matyjaszewski K., 2012, Toughening fragile matter: mechanical properties of particle solids assembled from polymer-grafted hybrid particles synthesized by ATRP, *Soft Matter*, 8, 4072-4082.

[29] Choi J., Hui C.M., Schmitt M., Pietrasik J., Margel S., Matyjaszewski K., Bockstaller M.R., 2013, Effect of polymer-graft modification on the order formation in particle assembly structures, *Langmuir*, 29, 6452-6459.

[30] Lutz J.-F., 2008, Polymerization of oligo(ethylene glycol) (meth)acrylates: Toward new generations of smart biocompatible materials, *J. Polym. Sci. A Polym. Chem.*, 46, 3459-3470.

[31] Nicolas J., Mantovani G., Haddleton D.M., 2007, Living ra-

dical polymerization as a tool for the synthesis of polymer-protein peptide bioconjugates, *Macromol. Rapid Commun.*, 28, 1083-1111.

[32] Wallat J. D., Rose K. A., Pokorski J. K., 2014, Proteins as substrates for controlled radical polymerization, *Polym. Chem.*, 5, 1545-1558.

[33] Averick S., Paredes E., Li W., Matyjaszewski K., Das S.R., 2011, Direct DNA conjugation to star polymers for controlled reversible assemblies, *Bioconjugate Chem.*, 22, 2030-2037.

[34] Averick S., Simakova A., Park S., Konkolewicz D., Magenau A.J.D., Mehl R.A., Matyjaszewski K., 2012, ATRP under biologically relevant conditions: grafting from a protein, *ACS Macro Lett.*, 1, 6-10.

[35] Meszynska A., Badi N., Börner H.G., Lutz J.F., 2012, „Inverse” synthesis of polymer bioconjugates using soluble supports, *Chem. Commun.*, 48, 3887-3889.

[36] Cho, H. Y., Averick S.E., Paredes E., Wegner K., Averick A., Jurga S., Das S.R., Matyjaszewski K., 2013, Star Polymers with a Cationic Core Prepared by ATRP for Cellular Nucleic Acids Delivery, *Biomacromolecules*, 14, 1262-1267.

[37] Bencherif S. A., Washburn N.R., Matyjaszewski K., 2009, Synthesis by AGET ATRP of Degradable Nanogel Precursors for In Situ Formation of Nanostructured Hyaluronic Acid Hydrogel, *Biomacromolecules*, 10, 2499-2507.

[38] Loczenski Rose V., Winkler G.S., Allen S., Puri S., Mantovani G., 2013, Polymer siRNA conjugates synthesised by controlled radical polymerisation, *Eur. Polym. J.*, 49, 2861-2883.

Monika Pietrzak

monika.pietrzak@edu.p.lodz.pl

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Nanocząstki jako „nowoczesny” czynnik stresowy dla roślin

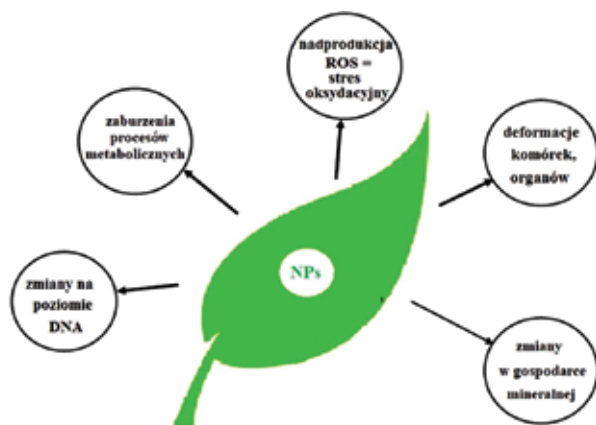
W ostatnich latach obserwuje się coraz większy rozwój nanotechnologii, zajmującej się materiałami o rozmiarach na poziomie nanometrycznym. Wielkość cząstek rzędu 10^{-9} m sprawia, że produkty w skali nano posiadają wiele unikatowych właściwości, w porównaniu do ich mikrometrycznych odpowiedników. Dużo uwagi obecnie poświęca się nanocząstkom (NPs) metali i tlenków metali, co spowodowane jest ich praktycznie nieograniczonymi możliwościami aplikacyjnymi [1].

Wśród nanocząstek najczęściej wykorzystywanych przemysłowo wymienia się nanocząstki Ag, ZnO, TiO₂ i CeO₂. Cieszą się one tak dużym zainteresowaniem, ponieważ wykorzystywane są w branży kosmetycznej, farmaceutycznej, elektronicznej, a także jako dodatki do herbicydów, paliw i żywności [2]. Dane na temat wielkości produkcji

przemysłowej poszczególnych rodzajów nanocząstek mają charakter szacunkowy. Podaje się, że w 2004 roku wyprodukowano 2 000 ton inżynierskich nanocząstek, natomiast do 2020 roku ich produkcja ma wzrosnąć nawet do 58 000 ton [3]. Coraz szersze możliwości aplikacyjne, a tym samym prognozowany wzrost produkcji nanocząstek, wzbudza obawy na temat ich niekontrolowanego przedostawania się do środowiska. Z dokonanego przeglądu literatury wynika, że wielkość produkcji nanocząstek ditlenku ceru (przeznaczonych jako dodatek do paliw diesla) osiągnie w roku 2020 poziom 1255 ton. Zgodnie z przewidywaniami aż 6 % z podanej wartości zostanie uwolnionych do środowiska [4]. Elementem środowiska, stanowiącym ostateczne miejsce deponowania nanocząstek jest gleba. Nieuniknione jest zatem oddziaływanie NPs z roślinami, które mogą po-



bierać je zarówno poprzez części nadziemne, jak również system korzeniowy wraz ze składnikami niezbędnymi do prawidłowego rozwoju. Nanocząstki obecne w środowisku stały się dla roślin kolejnym czynnikiem stresowym, często wymagającym uruchomienia mechanizmów obronnych lub unikania. Najczęściej opisywane w literaturze objawy toksyczności nanocząstek u roślin zostały przedstawione na rys. 1.



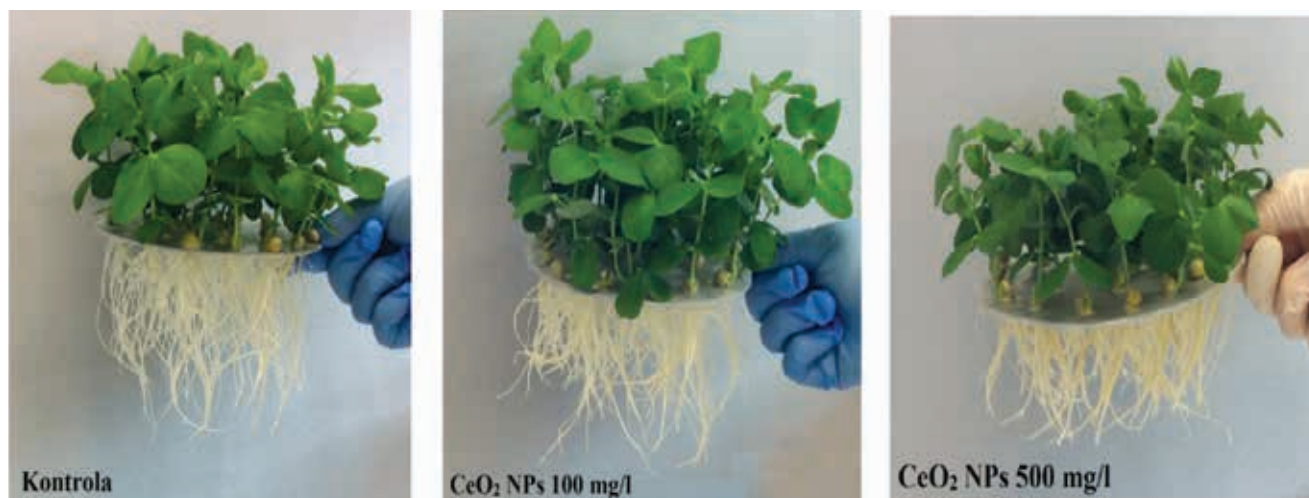
Rys.1. Możliwe skutki interakcji nanocząstek z roślinami

Przewidywana coraz większa ilość nanocząstek wprowadzanych do środowiska wymaga wnikliwej analizy ich interakcji z różnymi organizmami żywymi, w tym roślinami. Bardzo ważnym etapem badań jest sposób prowadzenia uprawy, a także dobór gatunku roślin. W literaturze opisane są oddziaływania niektórych NPs z ziołami, zbożami, warzywami i owocami. Często, w realizowanych eksperymentach, wykorzystuje się modelową roślinę – rzodkiewnik pospolity *Arabidopsis thaliana* [5]. Jak zostało napisane, ważnym czynnikiem jest sam sposób uprawy, która może być prowadzona tradycyjną metodą glebową lub też hydroponiczną – w kulturach wodnych. W uprawie bezglebowej korzenie roślin zanurzone są bezpośrednio w roztworze pożywki, która zawiera wszystkie niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju składniki odżywcze, w odpowiednich ilościach i proporcjach. W metodzie hydroponicznej wykorzystuje się pożywki Knopa, Hoaglanda oraz Murashigeo i Skooga. Uprawa taka charakteryzuje się szeregiem zalet, przede wszystkim eliminuje problem obecności materii organicznej i ogólnej złożoności medium, jak jest w przypadku gleby. Metoda ta jest preferowana w przypadku badań toksyczności w stosunku do roślin, głównie ze względu na możliwość kontrolowania ich reakcji na czynnik stresowy, np. poprzez obserwację zmian w budowie morfologicznej korzeni. Uprawa roślin w mineralnych roztworach odżywczych pozwala na określenie związku między stanem odżywiania

a wzrostem roślin spowodowanym bezpośrednio działaniem potencjalnie szkodliwego czynnika. W układzie gleba – roślina na mobilność pierwiastków wpływa więcej niż w przypadku uprawy w pożywce czynników środowiskowych, zmieniających często swoiste zachowanie stresora [6].

Określenie wpływu nanocząstek na wzrost i rozwój roślin może być opisane na podstawie wielu wskaźników i analiz biologiczno – chemicznych. Pomiarów tych parametrów mogą być wykonywane na świeżym materiale roślinnym, podczas trwania uprawy, lub też po jej zakończeniu i odpowiednim przygotowaniu próbek do konkretnej analizy. W takich badaniach istotne jest również określenie sposobu wnikania oraz translokacji, a także akumulacji nanocząstek w samych komórkach oraz organach roślin. Do tego celu stosuje się metody mikroskopowe z użyciem mikroskopów elektronowych: transmisyjnego (TEM) i skaningowego (SEM) oraz metodę skaningowej mikroskopii rentgenowskiej (STXM) [6]. Chcąc ocenić ingerencję nanocząstek w procesy metaboliczne roślin niezwykle istotna jest obserwacja zjawiska stresu oksydacyjnego, które wiąże się z niekontrolowaną syntezą reaktywnych form tlenu (ROS) w badanym organizmie. Nadmierna ilość tych związków w komórkach może prowadzić do utlenienia białek, lipidów czy DNA, a w konsekwencji do zniszczenia błon biologicznych. Podczas wyznaczenia odpowiedzi roślin na dany czynnik stresowy oznacza się aktywność enzymów antyoksydacyjnych, takich jak dysmutaza ponadtlenkowa SOD czy peroksydaza POD. Badając wpływ nanocząstek na stopień uszkodzenia błon biologicznych pomocne jest oznaczenie poziomu dialdehydu malonowego (MDA) – jednego z końcowych produktów peroksydacji lipidów. Analizy takie wykonywane są najczęściej na świeżym materiale roślinnym metodami ekstrakcyjno – spektrofotometrycznymi [5]. Analizując świeży materiał roślinny można też badać poziom barwników asymilacyjnych zawartych w liściach. Nowe możliwości w tym kierunku daje aparat SPAD, który mierzy zawartość chlorofilu bezpośrednio po przyłożeniu miernika do liści, a zatem w sposób bezinwazyjny. Oznaczenie poziomu poszczególnych składników mineralnych w organach roślin, a więc typowa analiza chemiczna, wymaga odpowiedniego przygotowania próbek. Wyszuszonego materiału roślinnego poddaje się mineralizacji. Na tym etapie następuje rozkład związków organicznych zawartych w próbce z jednoczesnym przeprowadzeniem jej do roztworu. Najczęściej do tego celu wykorzystywana jest metoda mineralizacji na mokro w systemie zamkniętym, przy użyciu energii mikrofalowej i w obecności kwasów. Tak przygotowane próbki poddaje się analizie zawartości





Rys. 2. Wygląd roślin uprawianych w kontakcie z nanocząstkami CeO_2 (stężenie stresora odpowiednio 100 i 500 mg/l) w porównaniu do wariantu kontrolnego (fot. własna)

poszczególnych pierwiastków. Powszechnie stosowanymi do tego celu metodami są: absorpcyjna spektrometria atomowa AAS i atomowa spektrometria emisyjna ICP. Oznaczenie zawartości kluczowych składników mineralnych w korzeniach i pędach umożliwia określenie wpływu badanego stresora na pobór i akumulację danych pierwiastków przez rośliny.

W Instytucie Chemii Ogólnej i Ekologicznej Politechniki Łódzkiej od kilku lat prowadzone są badania interakcji nanocząstek tlenków różnych pierwiastków (cynku, krzemu, glinu i ceru) z roślinami. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów pokazują, że NPs uwalniane do środowiska na każdym etapie cyklu życia – produkcji, transportu, użytkowania oraz składowania [7] oddziałują z roślinami uprawnymi, wywołując zmiany morfologiczne w budowie korzeni i części nadziemnych (rys. 2) oraz zaburzając ich gospodarkę mineralną. Prowadzenie tego rodzaju badań prowadzi do poznania mechanizmów toksyczności NPs w stosunku do roślin i jest niezbędnym elementem oceny losu nanocząstek w środowisku.

Literatura

- [1]. Rizwan M., Ali S., Qayyum M.F., Ok Y.S., Adrees M., Ibrahim M., Zia-ur-Rehman M., Farid M., Abbas F., 2017, Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of global import ant food crops: A critical review, *J. Hazard. Mater.*, 322, 2-16.
- [2]. Ma Ch., White J.C., Dhankher O.P., Xing B., 2015, Metal-based nanotoxicity and detoxification pathways In higher plants, *Environ. Sci. Technol.*, 49, 7109-7122.
- [3]. Nowack B., Bucheli T.D., 2007, Occurrence, behavior and effects of nanoparticles In the environment, *Environ. Pollut.*, 150, 5-22.
- [4]. Rossi L., Zhang W., Ma X., 2017, Cerium oxide nanoparticles alter the salt stress tolerance of *Brassica napus* L. by modifying the formation of root apoplastic barriers, *Environ. Pollut.*, 229, 132-138.
- [5]. Montes A., Bisson M.A., Gardella J.A., Aga D.S., Uptake and transformations of engineered nanomaterials: Critical responses observed in terrestrial plants and the model plant *Arabidopsis thaliana*, 2017, *Sci. Total. Environ.*, 6-7-608, 1497-1516.
- [6]. Hydroponics – A Standard Methodology for Plant Biological Research, In Tech, Croatia 2012.
- [7]. Giese B., Klaessig F., Park B., Kaegi R., Steinfeldt M., Wigger H. von Gleich A., Gottschalk F., 2018, Risks, release and concentrations of engineered nanomaterial in the environment, *Scientific Report*, 8, 1565.

Piotr Kobędza

piotr.kobedza@edu.p.lodz.pl

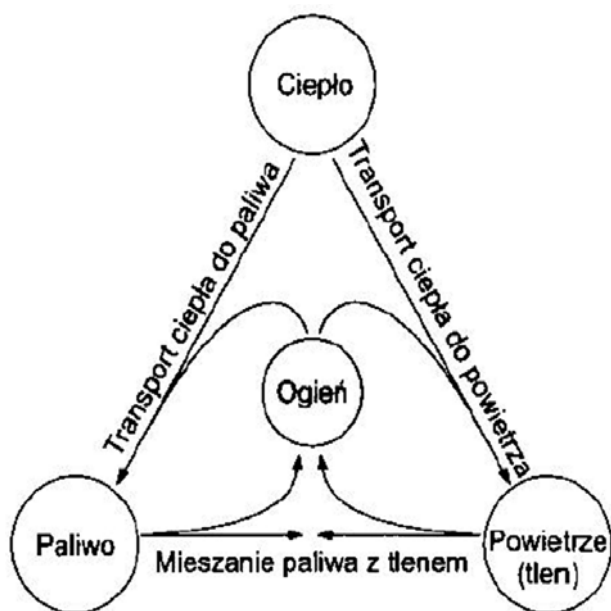
Instytut Technologii Polimerów i Barwników, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Uniepalnianie materiałów polimerowych

Polimery jako materiały użytkowe i konstrukcyjne są obecnie powszechne, towarzysząc nam na każdym kroku w codziennym życiu. Od ubrań, przez opakowania czy

elementy urządzeń elektrycznych, na oknach i oponach skończywszy. Kiedy w XIX w. Charles Goodyear opatentował sposób wulkanizacji kauczuku, a następnie Wesley Hyatt

opatentował technologię produkcji celulozoidu, pierwszego w historii tworzywa sztucznego, nikt nie mógł przypuszczać, że w przeciągu niespełna 200 lat polimery rozwiną się z nowinki naukowej do grupy materiałów będącej jedną z podstawowych budulców obecnego świata [1]. Taka powszechność polimerów wynika z ich unikatowych właściwości. Cechą łączącą wszystkie tworzywa sztuczne jest ich wytrzymałość w stosunku do gęstości. Lekkie materiały o dobrych właściwościach mechanicznych są pożądane szczególnie przy różnego rodzaju konstrukcjach, nie tylko budowlanych. Ponadto, polimery są łatwe w przetwórstwie, co wpływa na niski koszt wytworzenia gotowego produktu. Istotnym jest również, że modyfikując skład kompozycji polimerowej, możliwe jest otrzymanie materiału o ściśle sprecyzowanych właściwościach. Jednakże, pomimo okazałej ilości zalet, polimery nie są materiałami idealnymi. Najistotniejszą wadą jest długi czas rozkładu polimerów w środowisku naturalnym [2]. Dlatego prowadzone są badania nad sposobami zwiększenia ich biodegradacji, ale również rozważane są nowe sposoby recyklingu tworzyw sztucznych. Polimery są również materiałami palnymi. Wynika to z ich budowy – łańcuchy główne większości polimerów składają się z atomów węgla. Taka budowa, ale również obecność substancji dodatkowych w kompozycji powoduje, że tworzywa sztuczne mogą osiągać większą wartość opałową niż węgiel kamienny [3].



Rys. 1. Zależność między czynnikami w trakcie procesu spalania [4]

Palność polimerów to jeden z najistotniejszych czynników warunkujących bezpieczeństwo użytkowania gotowych produktów. Nie jest bowiem pożądane, aby w trakcie

zaistnienia niebezpiecznej sytuacji zagrożone było ludzkie zdrowie i życie. Oprócz oczywistego zagrożenia od ognia, niebezpieczne są również produkty spalania tworzyw sztucznych, które mogą być toksyczne. Ogólnie, palący się materiał jest skomplikowanym układem, w którym zachodzące reakcje można podzielić na trzy obszary: gazowy, przypowierzchniowy i w głębi materiału (zazwyczaj tylko w warstwie wierzchniej). W obszarze gazowym powstają palne, podtrzymujące spalanie gazy. Powstają one w wyniku endotermicznych reakcji degradacji i destrukcji polimeru. W warstwie przypowierzchniowej powstają gazy palne oraz zachodzą utleniające procesy pirolityczne. Jest to spowodowane procesami chemisorpcji, które wzbogacają spalaną powierzchnię tlenem dyfundującym z otoczenia. W warstwie wierzchniej, a więc w głębi materiału, dochodzi do endotermicznych procesów rozkładu [4].



Fot. 1. Badanie odporności na palenie kompozycji elastomerowej (fot. własna)



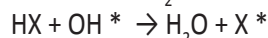
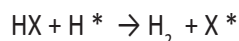
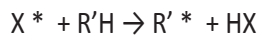
Istnieją jednak metody, dzięki którym możliwe jest ograniczenie palności kompozycji polimerowych. Przede wszystkim, istnieją polimery, które same w sobie są materiałami niepalnymi lub trudnopalnymi. Do tej grupy polimerów można zaliczyć wszystkie substancje, zawierające w makrocząsteczce atomy z grupy fluorowców, np. politetrafluoroetylen (PTFE), chlorosulfonowany polietylen (CSM), czy też kauczuk chloroprenowy (CR) [5]. Atomy fluoru lub chloru są inhibitorami procesów spalania. Jednakże, najbardziej powszechną metodą zwiększania odporności na palenie polimerów jest wprowadzenie antypirenów. Substancje te mogą być wprowadzone w trakcie syntezy bądź przetwórstwa polimerów, z czego bardziej rozpowszechniony jest pierwszy sposób. Jedynie mieszaniny antypirenów dodawane w trakcie przetwórstwa osiągają podobną skuteczność. Antypireny są to związki, których dodatek do polimeru powoduje wydzielanie się dużej ilości niepalnych gazów w trakcie spalania się materiału. Wydzielające się gazy powodują odcięcie dopływu tlenu do płonącego polimeru, zwiększając tym samym jego odporność na palenie. Ponadto powodują one zwiększenie pojemności cieplnej polimeru, zwiększenie przewodnictwa cieplnego, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia temperatury materiału, a także wytworzenia na powierzchni materiału warstwy izolacyjnej podczas palenia [6].

Antypireny można podzielić na cztery grupy:

- specjalne związki nieorganiczne,
- chlorowcowe związki organiczne,
- fosforowe związki organiczne,
- chlorowcowe związki organiczne fosforu.

Jako związek nieorganiczny najczęściej stosowany jest tlenek antymonu(III). Możliwe jest również stosowanie trójwodnego trójtlenku glinu. Dawniej wykorzystywane były również organiczne i nieorganiczne związki bromu, jednak ich stosowanie jest ograniczone, ze względu na powstawanie toksycznych związków podczas ich spalania. Obecnie stosowany jest wodorotlenek magnezu, hydroksycynian cynku, bądź uwodniony boran cynku. Chloroparafiny, pentabromoetylobenzen, czy też heksabromocyklododekan są natomiast najczęściej stosowanymi antypirenami z grupy chlorowcowych związków organicznych [7]. Ogólny schemat działania środków opóźniających palenie obrazują poniższe reakcje (I – IV). Jest to przykład z zastosowaniem chlorowcowych związków organicznych, jednakże jest on

prawidłowy również dla innych antypirenów oraz polimerów zawierających halogenki:



gdzie: R, R' – łańcuchy polimerowe,

X – atomy halogenku.

Termiczna degradacja materiałów polimerowych powoduje uwalnianie bardzo reaktywnych rodników wodorowych i wodorotlenowych, które podtrzymują palenie. Jednak obecność antypirenu w materiale powoduje, że powstające równolegle rodniki halogenowe reagują z H* oraz OH*, w wyniku czego powstaje związek HX. Jego obecność skutkuje spowolnieniem rozpadu łańcuchów [4]. Oprócz wprowadzenia antypirenów, które działają stricte na uniepalnienie materiału, korzystne jest również zastosowanie wybranych napełniaczy. Napełniacze, oprócz oczywistej funkcji zwiększania wytrzymałości mechanicznej i obniżania kosztów kompozycji, mogą również ograniczyć palność materiałów. Do napełniaczy wpływających na ograniczenie palenia polimerów zaliczyć należy napełniacze mineralne i nieorganiczne. Najpowszechniej stosowana jest krzemionka albo włókna szklane [8].

Literatura

- [1] <http://tworzywa.blogspot.com/2009/05/krotka-historia-syntetycznych-tworzyw.html>, 20.12.2018.
- [2] Rabek J. F., Współczesna wiedza o polimerach, Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa, 2009.
- [3] Wasilewski R., Siudyga T., 2013, Odzysk energetyczny odpadów tworzyw sztucznych, CHEMIK, 67 (5), 435–445.
- [4] Janowska G., Przygocki W., Włochowicz A., Palność polimerów i materiałów polimerowych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2007.
- [5] Zgłoszenie patentowe P.419628, Smejda-Krzewicka A., Kębęda P., Olejnik A., Strzelec K., „Sposób otrzymywania kompozycji elastomerowych zawierających kauczuk butadienowo-styrenowy, o zwiększonej odporności na palenie” (29.11.2016).
- [6] Rybiński P., Stabilność termiczna i palność elastomerów oraz materiałów elastomerowych, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2014.
- [7] Szlezzyngier W., Tworzywa sztuczne, t. 2, Wydawnictwo Oświatowe FOSZE, Rzeszów, 1998.
- [8] <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/uniepalnianie-materialow-polimerowych;3991346.html>, 20.12.2018.

Andrzej Żarczyński, Izabela Witońska

andrzej.zarczyński@p.lodz.pl; izabela.witonska@p.lodz.pl

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Medale dla prac z Wydziału Chemicznego PŁ na międzynarodowych wystawach wynalazków

W 2018 r. trzy innowacyjne rozwiązania pracowników Wydziału Chemicznego Politechniki Łódzkiej, związane z pozyskiwaniem energii proekologicznej zostały nagrodzone medalami na międzynarodowych wystawach wynalazków w Jassy, Toronto, Warszawie oraz w Seulu.

INVENTICA 2018

XXII Międzynarodowa Wystawa Wynalazków INVENTICA 2018 odbyła się w dniach 27-29 czerwca 2018 r. w reprezentacyjnych salach rumuńskiej Politechniki w Jassy (Technical University „Gheorghe Asachi” of Iasi). Międzynarodowy Salon Badań i Transferu Technologii „INVENTICA”, którego organizatorami są w/w Politechnika, Narodowy Instytut Wynalazków (National Institute of Inventics, Iasi) oraz Urząd Miasta Jassy (City Hall of Iasi), każdego roku gromadzi setki wynalazców, racjonalizatorów, projektantów, naukowców i inwestorów z wielu krajów świata. Racjonalizatorzy z Rumunii, Tajwanu, Kanady, Polski, Rosji, Mołdawii, Stanów Zjednoczonych i innych państw zgłosili na wystawę 430 wynalazków, wzorów użytkowych, prac projektowych i modelarskich, a także innowacyjnych rozwiązań, które przyporządkowano do 25 grup tematycznych. Polskie rozwiązania pochodziły z trzech ośrodków: Politechniki Łódzkiej – PŁ (13 rozwiązań), Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie (10 rozwiązań) oraz Politechniki Częstochowskiej (3 rozwiązania). Wśród wynalazków z PŁ, znalazły się 3 prace zgłoszone przez naukowców z Wydziału Chemicznego, wśród których 2 patenty opracowane zostały wspólnie z Wydziałem Biotechnologii i Nauk o Żywności – WBiNoŻ PŁ oraz Wydziałem Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki – WE-EliA PŁ. Pozostałe zgłoszenia z Politechniki Łódzkiej pochodziły z WBiNoŻ (3), WE-EliA (3), Wydziału Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej (2), jedno z Wydziału Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów opracowane z firmą Tricomed S.A. oraz jedno zgłoszenie z Wydziału Mechanicznego opracowane we współpracy z Wydziałem Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska.

Przed międzynarodowym Jury, któremu przewodniczył prof. Neculai Eugen Seghedin – prezes Narodowego Instytutu Wynalazków, rozwiązania z Polski prezentował dr inż. Adam Ryłski, prezes Oddziału Rejonowego Stowarzyszenia Polskich Wynalazców i Racjonalizatorów w Łodzi, były dyrektor generalny Światowej Federacji Stowarzyszeń Wynalazczych (IFIA), pracownik Wydziału Mechanicznego PŁ. Pracownicy Politechniki Łódzkiej za przedstawione wynalazki i innowacyjne rozwiązania uzyskali wiele nagród specjalnych, medali i wyróżnień. Prace powstałe na Wydziale Chemicznym PŁ zostały wyróżnione **trzema złotymi medalami INVENTICA 2018**: „Catalytical method of production a fuel biocomponent from bioethanol” – dr hab. inż. Piotr Dziugan¹, prof. dr hab. inż. Zbigniew Kamiński², dr hab. Stanisław Karski³ prof. PŁ, dr hab. inż. Beata Kolesińska² prof. PŁ, dr hab. inż. Izabela Witońska³ prof. PŁ, mgr inż. Konrad Jastrząbek¹; „Method for producing a nanocomposite catalyst for catalyzing the furfural to tetrahydrofurfural alcohol reducing reaction in the water phase” – dr Jacek Rogowski³, dr inż. Michał Binczarski³, dr hab. inż. Piotr Dziugan¹, dr hab. Stanisław Karski³ prof. PŁ, mgr inż. Magdalena Modelska³, dr hab. inż. Izabela Witońska³ prof. PŁ, dr inż. Andrzej Kubiak⁴; „The use of photovoltaic calculator for the design of prosumer solar installations” – inż. Iga Brochocka⁵, dr inż. Andrzej Żarczyński³, dr inż. Adam Ryłski⁶, dr inż. Marcin Zaborowski³. To ostatnie rozwiązanie uzyskało także **Euroinvent Medal**, przyznany przez Rumuńskie Stowarzyszenie Wynalazców (Romanian Inventors Forum).

¹Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii (Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności PŁ), ²Instytut Chemii Organicznej (Wydział Chemiczny PŁ), ³Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej PŁ (Wydział Chemiczny PŁ), ⁴Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych (Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej PŁ), ⁵absolwentka w 2017 r. Wydziału Chemicznego PŁ – kierunek Ochrona środowiska i laureatka Nagrody II stopnia w Konkursie SITPChem na najlepszą pracę dyplomową z dziedziny chemii w okręgu łódzkim w 2017 r., ⁶Instytut Inżynierii Materiałowej (Wydział Mechaniczny PŁ).





Złote medale i dyplomy przyznane za patent pt. „Method for producing a nanocomposite catalyst for catalyzing the furfural to tetrahydrofurfural alcohol reducing reaction in the water phase” na wystawach IWIS 2018 oraz INVENTICA 2018 (fot. Izabela Witońska)



Medale i dyplom przyznane za opracowanie pt. „The use of photovoltaic calculator for the design of prosumer solar installations” na wystawie INVENTICA 2018 (fot. Andrzej Żarczyński)

iCAN 2018

Wśród 410 innowacyjnych rozwiązań z 44 krajów świata, które zaprezentowano na Międzynarodowym Konkursie Innowacji i Wynalazczości w Kanadzie iCAN 2018, poddano ocenie Jury również wynalazek z Pł, zatytułowany „Catalytic method of production a fuel biocomponent from bioethanol”. Rozwiązanie to wyróżnione zostało **nagrodą**



specjalną organizatorów iCAN 2018 oraz złotym medalem. Cieszy fakt, że opracowana w ramach projektu badawczego BIOSTRATEG 2/296369/5/NCBR/2016 koncepcja produkcji biobutanolu, znajduje duże uznanie wśród potencjalnych inwestorów na świecie. Testowana w IChOiE Pł ćwierć-techniczna instalacja do katalitycznego sprzęgania bioetanolu, być może będzie miała szanse na przemysłowe wdrożenia.



Złote medale uzyskane na wystawach INVENTICA 2018, iCAN 2018 oraz SIIF 2018 (fot. Michał Binczarski)

Nagroda specjalna i dyplom organizatorów iCAN 2018 przyznana za patent pt. „Catalytic method of production a fuel biocomponent from bioethanol” (fot. Michał Binczarski)



Aparatura do katalitycznego sprzęgania bioetanolu, znajdująca się w IChOiE Pł (fot. Izabela Witońska)



IWIS 2018

Rozwiązania twórców z Wydziału Chemicznego zostały nagrodzone **dwoma medalami** złotymi „*Method for producing a nanocomposite catalyst for catalyzing the furfural to tetrahydrofurfural alcohol reducing reaction in the water phase*” oraz „*CAL-SOL System for the design of prosumer photovoltaic installations*” i **jednym srebrnym** „*Catalytical method of production a fuel biocomponent from bioethanol*”, podczas 12. edycji Międzynarodowej Warszawskiej Wystawy Wynalazków „IWIS 2018”, która odbyła się w dniach 15-17 października 2018 roku na terenie Politechniki Warszawskiej. Wystawa została zorganizowana przez Stowarzyszenie Polskich Wynalazców i Racjonalizatorów przy współpracy z Urzędem Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej oraz Politechniką Warszawską. Honorowy Patronat nad „IWIS 2018” objął Prezydent RP Andrzej Duda. IWIS to największa w Polsce i trzecia pod względem ilości wystawianych rozwiązań wystawa w Europie, która promuje osiągnięcia naukowe, wynalazki oraz innowacje. W trakcie tegorocznej edycji zaprezentowano rozwiązania z 25 państw, m.in. z Bułgarii, Kanady, Rumunii, Chorwacji, Indonezji, Iranu, Tajwanu, Arabii Saudyjskiej, Mołdawii, Tajlandii. Polscy wynalazcy przedstawili około 190 rozwiązań z rozmaitych dziedzin nauki, co w sumie z zagranicznymi wynalazkami dało prawie 400 rozwiązań, z których szereg już znalazło zastosowanie w przemyśle. Ekspozycje IWIS 2018 zwiedziło ponad 20 tys. osób.

SIIF 2018

W dniach 6-9 grudnia 2018 r., odbyły się Międzynarodowe Targi Innowacyjności w Seulu – Seul International Invention Fair 2018 (SIIF). Wyżej wymienione Targi są organizowane przez Koreańskie Stowarzyszenie Promocji Inwencji (KIPA), organizację w Korei Południowej, która promuje działalność wynalazczą już od 1973 roku. Na SIIF zaprezentowano ponad 700 rozwiązań zgłoszonych przez przedstawicieli 30 krajów z całego świata, w tym m.in. z Malezji, Tajwanu, Arabii Saudyjskiej, Tajlandii, Polski i Chorwacji. Polska delegacja miała zaszczyt reprezentować wynalazców z naszego kraju, działających w ośrodkach przemysłowych i naukowych, poprzez przedstawienie aż 42 innowacyjnych rozwiązań. Na wystawie najwięcej nowości technicznych zaprezentowały Politechniki – Łódzka oraz Częstochowska, których propozycje wzbudziły zainteresowanie nie tylko jurorów, ale i 40 tys. gości zwiedzających Wystawę. Prezentowane rozwiązanie z Wydziału Chemicznego PŁ, zatytułowane „*Method for producing a nanocomposite catalyst for catalyzing the furfural to tetrahydrofurfural alcohol reducing reaction in the water phase*” zdobyło i na tej wystawie **złoty medal**.



Stoisko wystawowe Stowarzyszenia Polskich Wynalazców i Racjonalizatorów na wystawie SIIF w Seulu.

Źródło: <http://polskiwynalazki.pl/ex/2018/siif/galeria>, 21.01.2019

ISSS 2019 – 25th International Symposium On Separation Sciences

Politechnika Łódzka, Uniwersytet Łódzki, Komitet Chemii Analitycznej Polskiej Akademii Nauk oraz Polskie Towarzystwo Chemiczne mają zaszczyt zaprosić na 25 International Symposium on Separation Sciences (ISSS'2019), które odbędzie się w dniach 15-18 września 2019 roku w Łodzi pod auspicjami Central European Group for Separation Sciences (CEGSS).

Tematyka konferencji poświęcona będzie zagadnieniom z obszaru technik separacyjnych, a w szczególności nowatorskim rozwiązaniom w przygotowaniu próbek, opracowaniom w zakresie teorii i zastosowań chromatografii i technik

elektromigracyjnych w różnych wariantach oznaczeń, spektroskopii mas, nowym rozwiązaniom aparaturowym, technikom sprzężonym, układom wielowymiarowym, miniaturyzacji, automatyzacji i robotyzacji.

W ramach konferencji przewidywane są wykłady plenarne, komunikaty ustne oraz wystąpienia posterowe. Integralną częścią sympozjum będą warsztaty, wystawa aparatury i oprzyrządowania oraz literatury. Wykłady wygłoszą wybitni specjaliści z kraju i zagranicy. Serdecznie zapraszamy do Łodzi miasta nauki i kultury.

Kontakt:

Przewodnicząca
Komitetu Organizacyjnego
dr hab. inż. Joanna Kałużna-Czaplińska,
prof. PŁ

e-mail:
joanna.kaluzna-czaplinska@p.lodz.pl

Szczegółowe informacje są dostępne
na stronie konferencji:
iss2019.p.lodz.pl



ISSS 2019



25th
International Symposium
on Separation Sciences

Łódź, 15-18 września 2019
www.iss2019.p.lodz.pl

Organizatorzy



Patronat Honorowy Rektora Politechniki Łódzkiej
Patronat Honorowy Rektora Uniwersytetu Łódzkiego

Patronat medialny **ANALITYKA**



Workshop on Progress in Nanotechnology and Optoelectronics



25-27.04.2019 Lodz, Poland

<https://nanoptoelectro2019.p.lodz.pl>



SCOPE & TOPICS

- *Functional nanomaterials*
- *Synthesis of organic semiconductors*
- *Theory – simulation*
- *Molecular Optoelectronics*
- *Hybrid electronics*

SCIENTIFIC PROGRAM

- *Single-session workshop*
- *5 Plenary Lectures*
- *20 Invited Lectures*
- *Poster Session*



INVITED PLENARY LECTURERS

- P. W.M. Blom** (Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz)
A. Köhler (Universität Bayreuth)
K. Matyjaszewski (Carnegie Mellon University, Pittsburgh)
K. Müllen (Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz)
M. Samoc (Wroclaw University of Science and Technology)

SCIENTIFIC COMMITTEE

- K. Matyjaszewski** (Carnegie Mellon University & Lodz Univ. of Tech.)
J. Ulanski (Lodz University of Technology)

ORGANIZING COMMITTEE

- B. Luszczynska** (Lodz University of Technology)
T. Marszalek (Lodz University of Technology & Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz)

INVITED LECTURERS

- P. Audebert** (Ecole Normale Supérieure de Cachan)
X. Feng (Technische Universität Dresden)
A. Galeski (Centre of Molecular and Macromolecular Studies, PAS, Lodz)
J.-F. Gérard (Inst. National des Sciences Appliquées de Lyon)
E. Glowacki (Linköpings Universitet)
S. Jurga (Adam Mickiewicz University, Poznan)
M. Jakubowska (Warsaw University of Technology)
Z. Klusek (University of Lodz)
J. Michels (Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz)
A. Monkman (Durham University)
F. Nanni (Sapienza Università di Roma)
L. Pereira (Universidade de Aveiro)
J. Pflieger (Inst. of Macromolecular Chemistry AS CR, Prague)
W. Pisula (Lodz University of Technology)
A. Pron (Warsaw University of Technology)
A. Sikorski (University of Warsaw)
M. Stepien (University of Wroclaw)
M. Szymanski (Karlstads Universitet & Örebro Universitet)
J. Sworakowski (Wroclaw University of Science & Technology)
Y. Zou (Central South University, Changsha)

AUSPICES:



Rector of Lodz University of Technology (TUL)
 Dean of Faculty of Chemistry, TUL





ASSOCIATION OF
CHEMISTRY AND THE
ENVIRONMENT



20th European Meeting on Environmental Chemistry

EMEC20

2-5 December 2019
Lodz, Poland



20th European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC20) 2 – 5 December 2019, Lodz, Poland

This conference covers a broad range of topics within the field of **environmental chemistry**, and interdisciplinary presentations are very welcome. The EMEC meeting always attracts high quality science presentations and invited talks from internationally renowned researchers working in environmental chemistry and related fields.

The conference will be organized by the **Faculty of Chemistry from the Lodz University of Technology (TUL)**, on behalf of the Association of Chemistry and the Environment (ACE).

The main objectives of **EMEC20** are to bring together scientists working in the field of environmental chemistry & environmental monitoring, to report the latest advances in this research area, to network with experts in specialised areas to get new ideas, to promote effective future collaboration and research.

Also, **EMEC20** will be ideal occasion to meet friends or new colleagues in Lodz, a stunning city with unique and amazing history and culture.

Selected Conference Topics:

- Analytical methods for environmental science
- Environmental technologies, waste management and recycling
- Environmental compartments (atmosphere, soils, marine and surface waters) with focus on monitoring, processes (biological and chemical)
- Green chemistry and green technologies
- Agro-environmental friendly processes and food chemistry
- Methodology and environmental modelling
- Remediation, ecotoxicology and biomarkers
- Sustainable chemistry (new compounds, green processes)
- Sustainable development, life cycle assessment, risk assessment

Guidelines for oral/poster presentations

Abstract submission

Each participant is allowed to submit only one abstract for oral presentation as a presenting/first author and max. two abstracts for poster presentation. Please ensure your abstracts meet the conference's strict guidelines. All submitted abstracts will be reviewed and assessed by the Scientific Committee.

Important dates

- Submission Opening: March 18, 2019
- Abstract Submission Deadline: September 20, 2019
- Notification of Acceptance Oral/Poster: October 7, 2019
- Early Bird Payments Deadline: October 11, 2019
- Regular Payments Deadline: November 15, 2019

Venue

EMEC20 will be held at Lodz, Poland.

The conference site will be located in the TUL Sports and Education Centre 'Sports Bay'. This facility includes not only modern conference auditoria fully equipped that provide a perfect venue for 20th European Meeting on Environmental Chemistry but also olympic-size swimming pool (the only pool of this size in the region, perfect for practising water sports, especially swimming, water polo, and triathlon) and one of the largest climbing walls in Poland.

Website of the EMEC20 conference

<https://emec20.p.lodz.pl>

The conference website will be progressively updated. We encourage to visit the conference's webpage to find any important dates, information and author guidelines.

The EMEC20 conference contact information

Conference Secretariat: emec20@info.p.lodz.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: Analityka Chemiczna

Kierunek: Technologia chemiczna

Specjalność:

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

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: Chemia w kryminalistyce

Kierunek: Technologia chemiczna

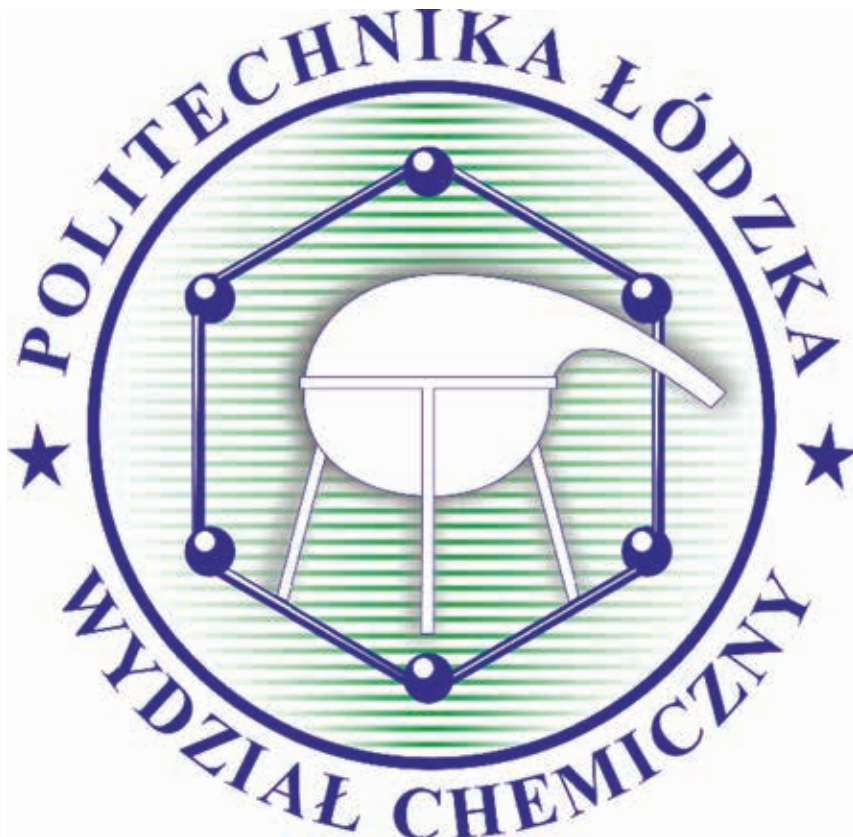
Specjalność:

- 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

Nowy kierunek studiów inżynierskich
w języku angielskim





www.chemia.p.lodz.pl

 www.facebook.com/Wydzial.Chemiczny

