

Chemia – podstawa cywilizacji technicznej

Mieczysław Mąkosza

Droga Koleżanko, Drogi Kolego,

Cieszę się, że interesuje Was chemia. Świadczy to o niezależności myślenia i pewnej odwadze, gdyż chemia nie cieszy się dobrą opinią w społeczeństwie i w mediach. Powszechnie panuje błędna opinia, że „chemia truje”. Przykładem tego jest propagowanie tzw. zdrowej żywności, wytwarzanej bez udziału środków chemicznych, co jest oczywistym nadużyciem, gdyż sugeruje, że inna żywność nie jest zdrowa. W społeczeństwie nie ma świadomości roli chemii – kojarzy się ona z czymś niezrozumiałym i od dawna postrzegana była negatywnie. W przeprowadzonej przed kilkoma latami ankiecie na temat stu najważniejszych wynalazków – nie znalazł się ani jeden wynalazek z obszaru chemii, a penicylinę zakwalifikowano jako wynalazek medycyny!?

Wszystko co nas otacza jest związane z chemią, a procesy życiowe to w istocie procesy chemiczne. Nie chemik nie zdaje sobie z tego sprawy. Produkty chemiczne są wykorzystywane we wszystkich dziedzinach naszego życia. Na codzień zazwyczaj nie używamy bezpośrednio produktów przemysłu chemicznego, lecz są one niezbędne do wytwarzania przedmiotów codziennego użytku. Kto np. zdaje sobie sprawę, że samochód to maszyna chemiczna przetwarzająca energię wyzwalaną w reakcji chemicznej utleniania (spalania) węglowodorów w energię mechaniczną, zbudowana z produktów przemysłu chemicznego.

W ciągu ostatnich stu lat ogromnie polepszyła się jakość życia. Najprostszym i jednoznacznym wskaźnikiem tego postępu jest średni czas życia, który zwiększył się w tym okresie o około 30 lat. Podstawową przyczyną tego wzrostu jest zwiększenie higieny i rozwój medycyny, co zmniejszyło umieralność dzieci, jak również umieralność spowodowaną

chorobami zakaźnymi, chorobami krążenia, nowotworami i innymi. Istotne znaczenie dla zwiększenia długości życia ma również dostępność i wysoka jakość żywności. W tym okresie zwiększył się również znacznie komfort życia codziennego – dostępność urozmaiconej żywności, odzieży, środków higieny, kosmetyków i innych. Decydującą rolę w uzyskaniu tego postępu odgrywa chemia, a szczególnie chemia organiczna.

Przyjrzyjmy się najważniejszym dziedzinom decydującym o jakości życia. Są to: żywność, odzież, mieszkanie, zdrowie, higiena i uroda, transport, edukacja i kultura. Od bardzo dawna człowiek przeprowadzał procesy chemiczne opanowane empirycznie – wytwarzanie brązu, wytapianie żelaza, wytwarzanie barwników ze źródeł naturalnych, garbowanie skór, wypalanie wapnia, wytwarzanie szkła, mydła i inne. Znakomicie również opanował takie procesy biotechnologiczne jak fermentacja alkoholowa (wino, piwo), wytwarzanie serów i inne. Wszystkie te osiągnięcia w opanowaniu procesów chemicznych miały charakter empiryczny. Początek nowoczesnej chemii to prace Lavoisiera i Priestleya (koniec XVIII w.). Lavoisier sformułował prawo zachowania materii i prawidłowo wyjaśnił proces spalania jako łączenie substancji z tlenem, tym samym obalił ogólnie uznawaną teorię flogistonu (nieważkiej materii ognia). Prace te stworzyły podstawę rozwoju chemii jako nauki ścisłej. Kolejnym milowym krokiem było otrzymanie mocznika z soli nieorganicznej wykazujące jedność substancji nieorganicznych i organicznych. Wynik ten obalił panujący wówczas pogląd, że powstawanie substancji organicznych z nieorganicznych wymaga udziału tzw. „siły życiowej”. Dalszy, szybki rozwój nauk chemicznych umożliwił opanowanie technologii chemicznej oraz powstanie i rozwój przemysłu chemicznego jako ważnego działu gospodarki. W tym miejscu należy podkreślić, iż metalurgię możemy uważać za przemysł chemiczny: wytop żelaza z rudy to wysokotemperaturowa redukcja tlenków żelaza tlenkiem węgla, glin otrzymuje się drogą elektrolitycznej redukcji tlenku glinu w postaci stopu z kriolitem, itd.

Rozpatrzmy, jak wymienione wcześniej dziedziny decydujące o jakości życia są uzależnione od chemii.

Zaspokojenie potrzeb stale rosnącej liczby ludności wymagało zwiększenia produkcji żywności. Głównym czynnikiem ograniczającym plony było niewystarczające nawożenie nawozami naturalnymi i straty powodowane przez szkodniki. Przez wiele lat praktycznie jedynym źródłem nawozów azotowych, a także kwasu azotowego i saletry niezbędnej do produkcji prochu było guano, nagromadzone przez stulecia odchody ptaków na wyspach u wybrzeży Chile. Dopiero opanowanie syntezy amoniaku z wodoru i azotu (proces Habera-Boscha) umożliwiło produkcję nawozów azotowych, a także kwasu azotowego i materiałów wybuchowych w ogromnej skali. Jeszcze na początku ubiegłego stulecia rolnictwo miało charakter naturalny, a rozwój szkodników był kontrolowany równowagą biologiczną, co nie zawsze zapewniało skuteczną ochronę. Użycie nawozów mineralnych: azotowych, fosforowych i potasowych zwiększyło znacznie plony, lecz uprawa monokultur na dużych obszarach stworzyła dogodne warunki dla rozwoju szkodników – owadów, chwastów i grzybów patogennych. Problem ten występował również wcześniej. Wystarczy wymienić masowe zatrucie sporyszem – grzybem pasożytniczym na zbożu szczególnie w mokrych latach, czy klęskę głodu i śmierć głodową tysięcy ludzi w Irlandii spowodowaną zarazą ziemniaczaną.

W tej sytuacji konieczna jest skuteczna ochrona upraw przed szkodnikami, którą może zapewnić jedynie stosowanie chemicznych środków ochrony roślin – nazwanych ogólnie pestycydami. Preparaty zwalczające owady to insektycydy, środki grzybobójcze to fungicydy a chwastobójcze – herbicydy. Obecnie istniejący szeroki asortyment środków ochrony roślin to produkty otrzymywane na drodze syntezy organicznej. Nowoczesne i skuteczne insektycydy muszą spełniać szereg kryteriów: wykazywać dużą aktywność, tak by można je było stosować w małych ilościach, selektywnie zwalczać owady pasożytnicze, a jednocześnie nie szkodzić

owadom pożytecznym, np. pszczołom. Nie powinny również wykazywać działania toksycznego wobec organizmów ciepłokrwistych. Trwałość insektycydów w warunkach atmosferycznych (działanie wody, promieniowania słonecznego, wahań temperatury itd.) powinna być wystarczająco duża by zapewnić skuteczność działania, lecz również taka, by po pewnym, określonym czasie ulegały one całkowitej degradacji do związków nieaktywnych i nie dawały szkodliwych pozostałości w środowisku naturalnym. Podobne kryteria powinny spełniać herbicydy – związki hamujące selektywnie rozwój chwastów, a nieszkodliwe dla właściwych upraw oraz fungicydy – środki grzybobójcze.

Poszukiwania nowych, aktywnych i selektywnych pestycydów są prowadzone przez wiele firm i laboratoriów. Z natury rzeczy główną rolę w tych poszukiwaniach pestycydów odgrywa synteza organiczna.

Wyprodukowane zbiory należy przetworzyć w żywność, przechowywać i dostarczyć do konsumenta. Ochronę przed szkodnikami i pasożytami, w trakcie przetwórstwa i przechowywania, zapewniają środki chemiczne, np. konserwanty, chłodnictwo, hermetyczne opakowania, co również jest domeną chemii organicznej. W środkach przekazu można znaleźć wiele opinii o szkodliwym działaniu chemii na produkty spożywcze i propagandę tzw. „zdrowej żywności” produkowanej bez użycia chemicznych środków ochrony. Opinie te są całkowicie błędne. Prawidłowo użyte pestycydy nie przechodzą do żywności, a na obecnym etapie rozwoju produkcja żywności bez ochrony przed szkodnikami jest niemożliwa. Autorzy terminu „zdrowa żywność” implikują, że żywność produkowana w uprawach chronionych jest niezdrowa, co jest oczywistym nonsensem i nadużyciem. Co więcej, uprawy na niewielkich obszarach bez ochrony są możliwe jedynie dzięki temu, że na sąsiednich uprawach szkodniki są eliminowane przez chemiczne środki ochrony roślin.

Od dawna ludzie używali odzieży chroniąc się przed zimą i deszczem. Do tego celu służyły skóry, których garbowanie (proces chemiczny) zostało opanowane empirycznie. Dużym postępem było wytwarzanie odzieży z włókien naturalnych: lnu, jedwabiu, bawełny, wełny. Bawełna i len są to włókna celulozowe – polimery glukozy, jedwab i wełna to włókna poliamidowe. Włókna te należało oczyścić i farbować, są to typowe procesy chemiczne. Wieloletnie doświadczenie pozwoliło opanować procesy oczyszczania, wybielania i barwienia włókien naturalnych. Do czyszczenia i prania stosowano środki myjące – mydła (produkty hydrolizy tłuszczu), a barwniki uzyskiwano ze źródeł naturalnych: roślin, owadów czy małży na drodze empirycznie opanowanych procesów chemicznych. Jako przykład może służyć wytwarzanie indyga – proces chemiczny wykorzystujący źródła naturalne, opanowany już w starożytności. Zapotrzebowanie na barwniki było tak duże, że przemysł barwnikarski był pierwszym nowoczesnym przemysłem chemicznym wykorzystującym syntezę organiczną.

Obecnie dostępny repertuar barwników zapewnia uzyskanie dowolnych barw i odcieni o dużej trwałości. Równoległe z postępem w syntezie barwników nastąpił postęp w otrzymywaniu związków powierzchniowo czynnych, które są podstawą środków czyszczących i piorących, a także szerokiego asortymentu tzw. środków pomocniczych – uszlachetniających produkty włókiennicze. Należą do nich wybielacze optyczne, środki zapobiegające brudzeniu, gnieniu itd.

Ogromne znaczenie dla wytwarzania odzieży mają włókna syntetyczne, których opracowanie i produkcję zawdzięczamy chemii organicznej i chemii polimerów. Pierwsze włókna częściowo syntetyczne wytwarzano drogą chemicznej modyfikacji celulozy uzyskiwanej z drewna, była to tzw. wiskoza. Następnie odkryto i opanowano wytwarzanie w pełni syntetycznych włókien poliamidowych: nylonu i kapronu. Nylon to poliamid heksametylenodiaminy z kwasem adypinowym, a kapron to poliamid kwasu ω-

aminokapronowego. Bardzo ważną grupę włókien syntetycznych stanowią poliestry, z których najbardziej znanym jest politereftalan glikolu etylenowego. Włókna syntetyczne mają cenne właściwości i znajdują szerokie zastosowanie nie tylko w produkcji odzieży lecz w wielu innych gałęziach gospodarki, np. w przemyśle meblarskim.

Wytwarzanie cegieł i materiałów wiążących dla budownictwa, znane już w starożytności, to procesy chemiczne. Wypalanie wapienia do wapna palonego (tlenku wapnia) i wapna gaszonego (wodorotlenku wapnia) to podstawowe procesy wytwarzania zaprawy murarskiej i produkcji cementu. Obecnie, gdy poznano chemizm tych procesów, produkowany jest cement o różnych właściwościach, zapewniających pożądaną cechę użytkową. W budownictwie są obecnie szeroko wykorzystywane produkty przemysłu chemicznego: kleje mineralne, materiały izolacyjne takie jak włókna mineralne, pianki polistyrenowe, rury z polichlorku winylu i wiele innych. Wytwarzanie szkła (proces chemiczny) opanowano już w starożytności. Obecnie szkło produkowane jest w ogromnych ilościach i wielu gatunkach.

Produkty przemysłu chemicznego są również szeroko wykorzystywane w wyposażaniu wnętrz. Meble wykonane są najczęściej z drewna impregnowanego środkami chroniącymi przed grzybami i owadami lub z tworzyw sztucznych, a farby i lakiery to również produkty przemysłu chemicznego. Wykładziny i dywany są najczęściej produkowane z włókien syntetycznych i barwione barwnikami syntetycznymi.

Nowoczesne środki transportu to w znacznym stopniu produkty przemysłu chemicznego. Weźmy przykład samochodu. Nadwozie, podwozie i silnik skonstruowane są z metalu, a metalurgia to dział przemysłu chemicznego. Wyposażenie wnętrza: materiały izolacyjne, wykładzina foteli, tablica rozdzielcza – to tworzywa sztuczne. Opony wytwarzane są z uszlachetnionej gumy, która podobnie jak lakier jest typowym produktem chemicznym. Akumulator to płyty (z ołowiu i tlenku ołowiu (IV)) w kwasie siarkowym, umieszczone w

pojemniku z tworzywa sztucznego. Eksploatacja samochodu wymaga użycia smarów, olejów, płynów chłodniczych i hamulcowych, paliwa zawierającego dodatki – wszystko to produkty przemysłu chemicznego. To samo można powiedzieć o innych środkach transportu, włączając w to samoloty i pojazdy kosmiczne.

Nowoczesne społeczeństwo zużywa ogromne ilości energii, głównie w postaci energii elektrycznej. Nie wyobrażamy sobie życia bez elektryczności. Jest ona wytwarzana głównie drogą przemiany energii chemicznej uwalnianej w reakcji chemicznej spalania węgla, oleju lub gazu ziemnego w energię mechaniczną, napędzającą turbiny, a następnie elektryczną.

Energię elektryczną wytworzoną w elektrowniach rozprowadza się poprzez sieci energetyczne skonstruowane z przewodów wykonanych z metali, a zabezpieczonych izolatorami nieorganicznymi i organicznymi z tworzyw sztucznych.

Obecnie poszukuje się alternatywnych źródeł energii elektrycznej, które nie wytwarzają dwutlenku węgla. Ogromny postęp osiągnięto w opracowaniu bezpośredniego przetwarzania energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną poprzez ogniwa fotowoltaiczne, np. w postaci pokryć dachowych. Nowoczesne akumulatory litowe, znacznie lżejsze i bardziej pojemne od tradycyjnych akumulatorów ołowiowych, zapewniają magazynowanie energii elektrycznej, co umożliwia konstruowanie samochodów elektrycznych. Ostatnio zademonstrowano, że ogniwa fotowoltaiczne i lekkie akumulatory mogą dostarczyć energii do napędu samolotu! Ogniwa fotowoltaiczne i akumulatory litowe to produkty przemysłu chemicznego.

Od dawna ludzie próbowali leczyć choroby substancjami nieorganicznymi i organicznymi otrzymywanymi z różnych źródeł naturalnych. Powstało wiele hipotez dotyczących przyczyn występowania chorób i sposobów ich zwalczania, opartych na wieloletnich obserwacjach. Jednak dopiero nowoczesna chemia umożliwiła wytwarzanie leków

syntetycznych, skutecznie zwalczających choroby. Już na początku XX stulecia wprowadzono do leczenia pierwszy lek syntetyczny - kwas acetylosalicylowy – aspirynę, o działaniu przeciwgorączkowym i przeciwzapalnym, a następnie lek przeciwbakteryjny salwarsan zwalczający kiłę. W latach 30. ubiegłego stulecia rozpoczęto systematyczne poszukiwania nowych leków. Odkrycie sulfonamidów (prontosil 1934), penicyliny, streptomycyny i innych antybiotyków spowodowało, że choroby wywołane bakteriami patogennymi przestały być zagrożeniem dla życia. Ogromnym osiągnięciem chemii organicznej i medycyny było otrzymanie i wprowadzenie do leczenia środków regulujących ciśnienie krwi i funkcjonowanie układu krążenia, leków psychotropowych i środków przeciwbólowych. Obecnie przemysł farmaceutyczny, a w istocie przemysł subtelnej syntezy organicznej, to najbardziej naukochłonna i najszybciej rozwijająca się gałąź przemysłu. Poszukiwanie nowych leków to proces niezmiernie skomplikowany i kosztowny. Koszt wprowadzenia nowego leku do leczenia znacznie przekracza miliard dolarów. Punktem wyjścia w poszukiwaniach nowego leku może być racjonalne planowanie struktury chemicznej w oparciu o koncepcje oddziaływania cząsteczek chemicznych z receptorami w organizmie żywym, synteza analogów strukturalnych związków naturalnych wykazujących interesującą aktywność biologiczną, jak również przypadkowe obserwacje będące wynikiem badań przesiewowych ogromnej liczby związków. Dalsze prace w tym kierunku to synteza dużej liczby związków o podobnej budowie, próby określenia zależności między budową chemiczną a aktywnością biologiczną i wybranie związków najbardziej aktywnych do dalszych badań, tak by uzyskać produkt o dużej pożądanej aktywności, niskiej toksyczności i minimalnych działaniach ubocznych.

Skuteczność działania leku jest bardzo zależna od postaci w jakiej jest on wprowadzany do organizmu. Forma leku i jego przemiany w organizmie żywym to niezmiernie ważna i obszerna dziedzina wiedzy chemicznej.

Znaczenie higieny dla zdrowia zostało zrozumiane niezbyt dawno, a środki utrzymania czystości nie były przez wiele lat szeroko dostępne. Natomiast środki upiększania: pudry, pomady, perfumy były rozpowszechnione już w starożytności. Mydło otrzymane drogą gotowania tłuszczu z sodą, czyli hydrolizy estrów glicerynowych kwasów tłuszczowych, było znane od dawna, lecz mało dostępne. Było i jest ono uszlachetniane dodatkami środków zapachowych i barwników.

Dopiero poznanie istoty działania mydła jako środka powierzchniowo czynnego otworzyło drogę do otrzymywania nowoczesnych tensydów: kationowych, anionowych i obojętnych o dużej skuteczności, często połączonej z działaniem bakteriostatycznym, o małej szkodliwości dla środowiska naturalnego, a ulegających szybkiej biodegradacji. Rozpowszechnienie zasad higieny i dostępność środków myjących spowodowały znaczne przedłużenie czasu życia, gdyż zapobiegały one zakażeniom bakteryjnym – tzw. chorobom brudnych rąk. Synteza tensydów, barwników, środków zapachowych i pomocniczych, to znaczący dział przemysłu chemicznego.

Związki powierzchniowo czynne są szeroko wykorzystywane w kosmetykach, środkach myjących i czyszczących. Wiele z nich łatwo ulega degradacji na fragmenty nieszkodliwe dla środowiska (węglowodany, kwasy tłuszczowe). Ma to szczególne znaczenie, ponieważ są one powszechnie używane jako środki myjące w gospodarstwach domowych. Związki zapachowe, szeroko wykorzystywane do wytwarzania perfum, środków higieny i kosmetyków, to również domena chemii organicznej. Są one w znacznej części uzyskiwane ze źródeł naturalnych, lecz również na drodze syntezy organicznej.

Od zamierzchłych czasów człowiek utrwał swoje obserwacje i przekazywał informacje w formie obrazów, a później zapisów. Do tego celu wytwarzał atrament i barwniki często o zaskakującej jakości i trwałości. Opracowane empirycznie procedury zapewniały

powtarzalność wyników. Podobnie empirycznie opracowano wytwarzanie pergaminu, papirusu, a następnie papieru – materiałów, na których utrwalano zapis. Każda wizyta w muzeum dawnego malarstwa pozwala podziwiać nie tylko artyzm malarzy, lecz również jakość i trwałość farb wytwarzanych na drodze opracowanych empirycznie procesów chemicznych.

Obecnie książki i prasa zużywają ogromne ilości papieru, farb i lakierów. Papier to celuloza odpowiednio uszlachetniona dodatkami i klejami wytwarzanymi syntetycznie. Farby drukarskie i lakiery zapewniające wysoką jakość druku i fotografii, to produkty syntezy organicznej.

Dawna fotografia czarno-biała i kolorowa wykorzystywała procesy fotochemicznego rozkładu soli srebra, fotografia kolorowa dodatkowo barwniki, uczulające emulsję na światło czerwone, którymi pokrywane były przeźroczyste błony polimeryczne. Podobne techniki stanowiły podstawę kinematografii. Dawny i nowoczesny druk wymaga stosowania farb drukarskich – produktów przemysłu chemicznego. Nowoczesna elektronika i wszechobecne komputery to w znacznym stopniu produkty przemysłu chemicznego. Tranzystory i układy scalone wytwarzane są na drodze typowych procesów chemicznych. W konstrukcji większości ekranów i monitorów komputerowych, telewizorów i innych wykorzystuje się zjawisko reorientacji substancji ciekłokrystalicznych pod wpływem zmian pola elektrycznego. Związki ciekłokrystaliczne to związki organiczne, produkty syntezy organicznej. Duże zapotrzebowanie na substancje ciekłokrystaliczne o pożądanych właściwościach spowodowało rozwój tej dziedziny syntezy organicznej. Metody syntezy organicznej stanowią podstawowe narzędzie w produkcji obwodów scalonych i drukowanych, podstawy nowoczesnej elektroniki. Nie jest więc przesadne stwierdzenie, że jedną z podstaw nowoczesnej elektroniki jest chemia organiczna.

Przedstawione przykłady jednoznacznie wykazują, że chemia stanowi podstawę cywilizacji technicznej, a przemysł chemiczny zapewniający materiały i umożliwiający funkcjonowanie wszystkim innym gałęziom przemysłu winien rozwijać się najszybciej.

Niestety ciągła chęć zwiększenia wygody i komfortu życia oraz powiększenie liczby ludności, co jest możliwe dzięki produktom przemysłu chemicznego, powoduje powstawanie ogromnej ilości odpadów oraz zanieczyszczenie i degradację środowiska. Szczególnie znaczny udział w tym procesie mają opakowania z tworzyw sztucznych (polimerów, które z trudem poddają się recyklingowi, a ich rozkład w środowisku naturalnym jest bardzo powolny). Koniecznie należy ograniczać używanie opakowań plastikowych i dołożyć starań do opracowania skutecznych metod recyklingu. Jest to zadanie dla chemików.

Należy podkreślić, że ogromne znaczenie chemii nie ogranicza się do wytwarzania niezbędnych produktów. Niemniej ważne znaczenia ma analityka chemiczna, jako metoda weryfikacji identyczności i jakości produktów, wykorzystywana we wszystkich gałęziach przemysłu i rolnictwa. Szczególnie ważną rolę spełnia analityka chemiczna w diagnostyce medycznej, oznaczaniu zanieczyszczeń środowiska, kryminalistyce i wielu innych dziedzinach.

W tym omówieniu całkowicie pominąłem ogromne znaczenie chemii jako podstawowej nauki poznawczej. Nie jest przesadą stwierdzenie, że chemia jest podstawowym narzędziem poznania ziemi i życia na ziemi. Badania chemiczne pozwoliły poznać i zrozumieć tak różne procesy i zjawiska przebiegające na ziemi jak: powstawanie ozonu w górnych warstwach atmosfery drogą fotochemicznych reakcji tlenu, absorpcję energii słonecznej przez organizmy żywe drogą fotosyntezy, cykl obiegu węgla, azotu i tlenu w biosferze, powstawanie złóż minerałów w wyniku sedymentacji resztek organizmów żywych w oceanach itd. Co więcej, badania chemiczne pozwalają wnikać głęboko w historię ziemi i rozwój organizmów żywych

od początku powstania życia. Większość hipotez dotyczących powstania życia na ziemi upatruje początek procesów życiowych w elementarnych procesach chemicznych.

Szczególnie ważna jest rola chemii jako narzędzia poznania procesów życiowych, gdyż chemia stanowi podstawę nauk o życiu. Organizmy żywe zbudowane są z typowych polimerycznych związków organicznych: celulozy, skrobi, białek, tłuszczów, kwasów nukleinowych i połączeń między tymi polimerami. Celuloza i skrobia to polimery węglowodanów, głównie glukozy, białka to polimery utworzone z aminokwasów, tłuszcze to estry gliceryny i kwasów tłuszczowych, a kwasy nukleinowe to wielkocząsteczkowe połączenia związków heterocyklicznych, węglowodanów i kwasu fosforowego. Jest więc oczywiste, że wszystkie procesy życiowe są w swej istocie procesami chemicznymi przebiegającymi z udziałem związków organicznych i nieorganicznych.

Niewątpliwie najważniejszym procesem umożliwiającym życie na Ziemi jest absorpcja energii słonecznej i przekształcenie jej w energię chemiczną. Proces ten zwany fotosyntezą polega na reakcji dwutlenku węgla z wodą i elektronami dostarczonymi przez promieniowanie słoneczne. Reakcja fotosyntezy przebiega w roślinach, glonach i wielu mikroorganizmach. Jest ona katalizowana przez chlorofil – złożony związek organiczny zawierający pierścienie pirolu i jon magnezu, barwiący liście na kolor zielony. Endotermiczna reakcja dwutlenku węgla i wody, którą umożliwia zaabsorbowana przez chlorofil energia słoneczna, prowadzi do formaldehydu i tlenu. Dalsze reakcje formaldehydu dają glukozę, która jest podstawowym materiałem budulcowym roślin i glonów (w postaci polimerów: celulozy i skrobi). Wszystko to są typowe reakcje związków organicznych, które można przeprowadzić w warunkach laboratoryjnych, zarówno w procesie fotosyntezy katalizowanym przez chlorofil, jak i stosując typowe chemiczne czynniki redukujące.

Proces odżywiania wyższych organizmów to również typowe reakcje organiczne. Białka i polisacharydy, stanowiące podstawowy składnik pożywienia, są w przewodzie pokarmowym hydrolizowane do węglowodanów i aminokwasów. Egzotermiczna reakcja utleniania węglowodanów tlenem dostarczanym w procesie oddychania jest źródłem energii, a aminokwasy są następnie łączone w odpowiednie polipeptydy w procesie katalizowanym przez enzymy a kontrolowanym przez kwasy nukleinowe. Precyzyjna synteza białek w organizmach żywych przebiega zgodnie z kodem genetycznym, zawartym w kwasach nukleinowych. Mechanizm tej kontroli polega na typowym niekowalencyjnym oddziaływaniu międzycząsteczkowym zasad purynowych – elementów budulcowych kwasów nukleinowych – z aminokwasami w procesie budowy polipeptydów. Znaczenie chemii organicznej jako narzędzia badawczego procesów życiowych ilustruje opracowanie metod laboratoryjnej syntezy chemicznej polipeptydów i kwasów nukleinowych z prostych elementów budulcowych: aminokwasów, zasad purynowych, węglowodanów.

Istotną rolę w funkcjonowaniu organizmów żywych odgrywają niskocząsteczkowe związki organiczne, które regulują ważne procesy życiowe. Przykładem takich związków są witaminy i hormony. Poznanie ich budowy i roli, jaką spełniają w organizmie ma duże znaczenie poznawcze i praktyczne, gdyż umożliwia zrozumienie funkcjonowania organizmów żywych i drogi przekazywania sygnałów w sieci nerwowej, jak również pozwala poznać przyczyny pewnych schorzeń i zastosować odpowiednią kurację.

Przedstawione przykłady, ilustrujące rolę chemii w rozwoju cywilizacji technicznej zapewniającym wysoki komfort życia codziennego są wynikiem wieloletnich obserwacji oraz prac badawczych podstawowych i stosowanych w obszarze chemii. Od wielu lat postęp osiągnięty jest drogą badań naukowych podstawowych, których celem jest poznanie, oraz aplikacyjnych, stwarzających nowe produkty i procesy produkcyjne. Tradycyjne podziały

chemii na: nieorganiczną, organiczną, fizyczną itd. są sztuczne i arbitralne, gdyż w przyrodzie takie rozgraniczenia nie istnieją i wszystkie te kierunki są nierozzerwalnie związane. Niemniej jednak dla ułatwienia percepcji i komunikacji podział taki jest celowy i pożyteczny. Moje zainteresowania naukowe zawsze związane były z chemią organiczną, dlatego na zakończenie przedstawię krótki zarys rozwoju tej fascynującej nauki.

W pewnym uproszczeniu można powiedzieć, że chemia organiczna to dział chemii zajmujący się związkami węgla. Wyodrębnienie tego działu chemii jest uzasadnione unikalną zdolnością atomów węgla do tworzenia trwałych wiązań z innymi atomami węgla, a także atomami innych pierwiastków, szczególnie wodoru, tlenu, azotu, siarki, fosforu itd., co powoduje ogromną różnorodność i bogactwo związków organicznych. Liczbę opisanych związków organicznych trudno ustalić, na pewno przekracza 10 milionów. Jednocześnie należy pamiętać, że wszystkie organizmy żywe zbudowane są ze związków węgla i wymienionych pierwiastków, a więc z definicji ze związków organicznych, co uzasadnia ogromne znaczenie i zainteresowanie chemią organiczną.

Chemia organiczna jako nauka zaczęła się rozwijać w drugiej połowie XIX wieku. W tym okresie poznano i sformułowano podstawowe zasady budowy cząsteczek organicznych. Ustalono, że atom węgla tworzy wiązania z czterema podstawnikami, a charakter związku jest determinowany nie tylko rodzajem i liczbą atomów w cząsteczce lecz również kolejnością ich łącznie i rozmieszczeniem w przestrzeni, inaczej mówiąc, budową cząsteczki. Wprowadzono pojęcie izomerii – związki o tym samym składzie pierwiastkowym (zawierające ten sam rodzaj i liczbę atomów) mogą się różnić budową. Szczególnie ważne było sformułowanie hipotezy pierścieniowej budowy benzenu, co stanowiło milowy krok w rozwoju chemii związków aromatycznych, oraz hipotezy o tetraedrycznej budowie czterowiązalnego atomu węgla. Hipoteza ta wyjaśniła zjawisko tzw. izomerii optycznej, niezmiernie ważnej w zrozumieniu

chemii życia. Należy podkreślić, że hipotezy te były sformułowane w sytuacji, gdy budowa atomów i wiązań chemicznych była nieznana, a więc były one w znacznym stopniu spekulatywne, lecz na ogół trafne.

Prace badawcze w obszarze chemii organicznej stymulowane były chęcią poznania, a w równej mierze poszukiwaniem wartościowych rozwiązań praktycznych. Odkryto szereg ważnych reakcji związków organicznych i ustanowiono wiele empirycznych reguł i prawidłowości. Głównym obszarem praktycznego wykorzystania badań w obszarze chemii organicznej były wówczas barwniki. Produkcję pierwszych syntetycznych barwników rozpoczęto w latach 1860-1880. Istotnym stymulatorem rozwoju chemii organicznej w drugiej połowie XIX wieku była dostępność związków aromatycznych: benzenu, toluenu, fenolu, pirydyny i innych wydzielanych ze smoły pogazowej, której ogromne ilości otrzymywano jako produkt uboczny w koksowniach i gazowniach. Z tego powodu szczególnie szybko rozwijała się chemia związków aromatycznych, stanowiąca podstawę do wytwarzania barwników. Można nawet powiedzieć, że rozwój chemii organicznej i przemysłu opartego o syntezę organiczną był stymulowany przez rozwój metalurgii, dla której produkowano ogromne ilości koksu, a dodatkowo, surowiec dla przemysłu syntezy organicznej.

Postępy fizyki na początku XX wieku, ustalenie budowy atomów i rozwój mechaniki kwantowej okazały ogromny wpływ na rozwój chemii organicznej. Sformułowane wcześniej hipotezy wiązań chemicznych, szczególnie kowalencyjnych, zyskały interpretacje elektronowe. Wprowadzono pojęcie mechanizmów reakcji jako drogi między substratami a produktami. Wykorzystanie narzędzi badawczych chemii fizycznej, a szczególnie badanie szybkości reakcji w połączeniu z badaniami stereochemicznymi umożliwiło sformułowanie mechanizmów reakcji jonowych: podstawienia nukleofilowego w układach alifatycznych i podstawienia elektrofilowego w pierścieniach aromatycznych. Badania te doprowadziły do

zdefiniowania wpływu elektronowych i sterycznych efektów podstawników na przebieg reakcji, co dało początek tzw. fizycznej chemii organicznej. Jednym z istotnych osiągnięć w tym obszarze było sformułowanie ilościowego wpływu podstawników na szybkość i równowagę reakcji, tzw. równanie Hammetta i podobne. Kolejnym, ważnym krokiem było wyjaśnienie przebiegu reakcji z udziałem rodników i sformułowanie koncepcji reakcji łańcuchowych. Reakcje takie stanowią podstawę chemii polimerów, a w konsekwencji technologii tworzyw sztucznych.

Ogromne znaczenie w chemii organicznej mają reakcje przebiegające bez udziału aktywnych cząstek, tzw. reakcje elektrocykliczne. Należą do nich cykloaddycje dienowe i 1,3-dipolarne, liczne przegrupowania i inne. Sformułowanie mechanizmu tych reakcji w oparciu o koncepcje symetrii orbitali molekularnych stanowiło istotny krok w rozwoju chemii organicznej. Równolegle do osiągnięć podstawowej chemii organicznej przebiegał szybki rozwój przemysłu wykorzystującego syntezę organiczną. W związku z tym nastąpiło zwiększone zapotrzebowanie na podstawowe surowce organiczne, któremu nie mogły sprostać produkty wydzielane ze smoły pogazowej. Gwałtowny rozwój motoryzacji spowodował ogromne zainteresowanie przerobem ropy naftowej, w konsekwencji czego już w latach 30 ubiegłego stulecia rozpoczęły się zmiany bazy surowcowej przemysłu organicznego z produktów węglopochodnych na petrochemiczne. Obecnie głównym źródłem surowców dla przemysłu syntezy organicznej jest ropa naftowa i gaz ziemny.

Niewątpliwie najważniejszym działem chemii organicznej jest synteza organiczna. Jest to unikalna gałąź wiedzy, która umożliwia wytwarzanie związków nie występujących w przyrodzie. Większość nauk bada istniejącą materię, podczas gdy synteza często tworzy nową materię. Prace badawcze w obszarze syntezy organicznej można podzielić na dwa główne nurty: metodologię syntezy i syntezę docelową związków o określonej budowie. Oczywiście te

dwa nurty są ze sobą ściśle związane. Prace w obszarze metodologii to poszukiwanie nowych reakcji oraz sposobów prowadzenia znanych reakcji, które zapewniają wysoką selektywność procesów, wysoką wydajność produktów i niskie koszty. Prace w tym kierunku są mocno powiązane z badaniami w obszarze fizycznej chemii organicznej. Odkrycie i projektowanie nowych reakcji wymaga głębokiej wiedzy o mechanizmach reakcji, zrozumienia dynamiki procesów chemicznych i wpływu parametrów strukturalnych reagentów i warunków na przebieg reakcji. Osiągnięcia metodologiczne syntezy: nowe reakcje, nowe katalizatory i inne są wykorzystywane w syntezie docelowej. Z drugiej strony potrzeba realizacji określonej przemiany w syntezie ważnego związku stymuluje odkrycie nowych reakcji. Osiągnięcia w obszarze metodologii syntezy organicznej są ściśle powiązane z zagadnieniem katalizy molekularnej. Zdecydowana większość reakcji organicznych to procesy katalityczne. Najbardziej znaną i szeroko stosowaną jest kataliza kwasowo-zasadowa. Związki organiczne (substraty) pod wpływem kwasu lub zasady ulegają przemianie w cząstki aktywne i w tej postaci wступują w reakcje chemiczne w wyniku których powstają produkty. Uwolniony kwas lub zasada powoduje przemianę następnych cząsteczek substratów. Na podstawie licznych obserwacji o wpływie palladu, platyny, niklu i innych metali przejściowych na przebieg reakcji związków organicznych, w drugiej połowie ubiegłego stulecia odkryto szereg reakcji katalizowanych metalami przejściowymi i nastąpiło rozpowszechnienie procesów katalizowanych tymi metalami (Pd, Pt, Ru, Rh itd.). Ogromne zainteresowanie i szerokie wykorzystywanie tego rodzaju katalizy jest spowodowane faktem, że umożliwia ona realizację procesów, które nie przebiegają bez tych katalizatorów. Szczególna wartość katalizy metalami przejściowymi wiąże się z możliwością enancjoselektywnej konstrukcji centrów chiralnych. Związki zawierające atom węgla związany z czterema różnymi podstawnikami, zwane związkami chiralnymi, występują w postaci dwóch izomerów optycznych (enancjomerów).

Możliwość syntezy enancjoselektywnej występuje, gdy kationy metali przejściowych, katalizujące reakcje chemiczne, są skompleksowane z chiralnymi cząsteczkami organicznymi (ligandami). Ma to duże znaczenie praktyczne, gdyż większość związków organicznych wykorzystywanych jako leki zawiera centra chiralne i musi być stosowana w postaci indywidualnych enancjomerów. Również w drugiej połowie ubiegłego stulecia wprowadzono do praktyki syntezy organicznej katalizę przeniesienia międzyfazowego. Umożliwia ona przeprowadzanie wielu znanych reakcji w sposób znacznie prostszy i bardziej ekonomiczny. Zalety tego typu katalizy spowodowały jej szerokie rozpowszechnienie w światowym przemyśle syntezy organicznej. Warto dodać, że pionierskie prace nad katalizą przeniesienia międzyfazowego zostały zrealizowane w Polsce, a najnowocześniejszy proces technologiczny wykorzystujący tę katalizę został uruchomiony w Polsce, a następnie w innych krajach. W ostatnich latach obok katalizy metaloorganicznej ogromne zainteresowanie budzi tzw. organokataliza, szczególnie skuteczna w enancjoselektywnej syntezie związków chiralnych.

Jak to wynika z nazwy, zadaniem syntezy docelowej jest otrzymywanie związków o zdefiniowanej budowie. Najczęściej są to związki wydzielane ze źródeł naturalnych, szczególnie te z nich, które wykazują wysoką aktywność biologiczną. Celem takich prac jest ostateczne potwierdzenie budowy produktów naturalnych i wykazanie, że chemik w laboratorium może odtworzyć procesy przebiegające w organizmach żywych. W wyniku tych prac można otrzymać szereg analogów strukturalnych związków czynnych biologicznie i zbadać ich aktywność, co ma duże znaczenie dla przemysłu farmaceutycznego. Często obiektami syntezy docelowej są związki, których budowa narusza standardowe wartości długości wiązań i kątów między wiązaniami, co pozwala weryfikować ogólnie przyjęte koncepcje strukturalne. Jako przykłady osiągnięć syntezy docelowej produktów naturalnych można wymienić syntezę chlorofilu – związku odpowiedzialnego za zieloną barwę liści,

katalizującego fotosyntezę, czy też witaminy B12. Jako przykład związków drugiej grupy, których syntezę zrealizowano, może służyć kuban, pochodne fenestranu lub tetrahedranu. Synteza docelowa jest szczególnie szeroko praktykowana w laboratoriach badawczych firm produkujących leki i środki ochrony roślin.

Mam nadzieję, że ten krótki tekst utwierdzi Państwa w przekonaniu o słuszności wyboru chemii jako kierunku studiów i zwiększy motywację do głębokiego poznania tej niezmiernie ciekawej i ważnej nauki, a szczególnie rozbudzi zainteresowanie chemią organiczną.

Prof. dr hab. Mieczysław Mąkosza (1934-2026) był emerytowanym profesorem Politechniki Warszawskiej, jednym z najwybitniejszych polskich chemików organików. W latach 1979-2004 był dyrektorem Instytutu Chemii Organicznej Polskiej Akademii Nauk. Jest autorem ponad czterystu publikacji naukowych, wielu artykułów przeglądowych oraz trzech podręczników akademickich (*Synteza organiczna*, PWN, 1972; *Podstawy syntezy organicznej – reakcje jonowe i rodnikowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2006; *Podstawy syntezy organicznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2018, dwie ostatnie wspólnie z M. Fedoryńskim). W 1965 r. opracował ogólną, prostą i ekologiczną metodologię prowadzenia reakcji z udziałem anionów organicznych znaną pod nazwą „kataliza przeniesienia międzyfazowego” (*phase transfer catalysis*, PTC). Generowanie metodą PTC dihalokarbenów z haloformów i przyłączanie tych aktywnych cząsteczek do alkenów z utworzeniem pochodnych *gem*-dihalocyklopropanu nosi nazwę reakcji Mąkoszy. W 1978 r. opracował, komplementarny do reakcji Friedela-Craftsa, sposób podstawienia atomu wodoru w elektrofilowych arenach, znany pod nazwą „zastępcze nukleofilowe podstawienie atomu wodoru” (*vicarious nucleophilic substitution of hydrogen*, VNS). Ostatnio wykazał, że ogólnie przyjęty mechanizm nukleofilowego podstawienia aromatycznego, jednego z fundamentalnych procesów chemii organicznej, wymaga zmiany i sformułował prawidłowy mechanizm tej reakcji. Ten prawidłowy mechanizm niewątpliwie będzie przedstawiany w podręcznikach.

Profesor Mąkosza jest doktorem honoris causa Politechniki Warszawskiej oraz wielu uniwersytetów w kraju i za granicą, laureatem nagród wielu towarzystw naukowych. W 2012 r. był laureatem prestiżowej nagrody Fundacji na rzecz Nauki Polskiej.