

CHEMIA ORGANICZNA I KATALIZA MOLEKULARNA

Mieczysław Mąkosza

Instytut Chemii Organicznej PAN
ul. Kasprzaka 44/52
01-224 Warszawa

Wstęp

Przedstawienie osiągnięć nauki światowej w dziedzinie chemii organicznej i katalizy molekularnej wymaga przede wszystkim zdefiniowania tych pojęć. 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.

Katalizę molekularną można zdefiniować jako sposób (drogę) prowadzenia reakcji. Katalizator to substancja zmieniająca (zwiększająca) szybkość reakcji, lecz nie zużywana w jej trakcie. Zdecydowana większość reakcji chemicznych, a szczególnie reakcji związków organicznych, to procesy katalityczne, tak więc kataliza molekularna to zagadnienie o ogromnym znaczeniu poznawczym i praktycznym.

Omówienie osiągnięć chemii organicznej i ich roli w życiu codziennym przedstawię w trzech częściach:

1. Osiągnięcia chemii organicznej jako nauki poznawczej.
2. Rola osiągnięć chemii organicznej w zapewnieniu komfortu życia codziennego.
3. Rola chemii organicznej w naukach o życiu i o tworzywach sztucznych.

1. Osiągnięcia chemii organicznej jako nauki poznawczej

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 łączenia 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 kinetyki 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 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 wolnych 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. Równoległe 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 węglowodnorodnych do petrochemicznych.

Obecnie głównym źródłem surowców dla przemysłu syntezy organicznej jest ropa naftowa i gaz ziemny.

Obok przedstawionych wyżej wybranych osiągnięć wyznaczających rozwój podstawowej chemii organicznej, chemia organiczna rozwija się w kilku zbliżonych obszarach. Niżej omówię niektóre z nich: syntezę organiczną, metody rozdziału i identyfikacji związków organicznych i chemię produktów naturalnych.

1.1. Synteza organiczna i kataliza molekularna

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 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. Jak to przedstawiłem na wstępie, 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 cząsteczki 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 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. 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.

1.2. Metody rozdzielenia i identyfikacji związków organicznych

Jest rzeczą oczywistą, że rozwój chemii organicznej, a szczególnie syntezy i chemii produktów naturalnych był uzależniony od skutecznych metod wydzielenia, oczyszczania i ustalania budowy związków organicznych. Tradycyjne metody wydzielenia i oczyszczania: ekstrakcja, destylacja i krystalizacja były daleko niewystarczające. Od połowy ubiegłego stulecia nastąpił burzliwy rozwój metod chromatograficznych, opartych na zjawisku adsorpcji substancji organicznych na stałych adsorbentach. Opracowano wiele wariantów metod chromatograficznych, pozwalających na ilościowe oznaczanie składu i rozdzielanie skomplikowanych mieszanin i wydzielenie związków w ilościach submikrogramowych. Obecnie, w pracach eksperymentalnych w chemii organicznej do wydzielenia i oczyszczania związków stosuje się głównie metody chromatograficzne.

Tradycyjne metody określania budowy nieznanymi związków polegały na kontrolowanych procesach chemicznej degradacji do znanych związków o prostej budowie. Potwierdzeniem tak wydedukowanej budowy była synteza z prostych, dostępnych substratów. Metody te były bardzo pracochłonne – ustalenie budowy złożonych związków naturalnych trwało latami. Wprowadzenie do chemii organicznej metod spektralnych: spektroskopii w świetle widzialnym i ultrafioletowym, spektroskopii w podczerwieni, a szczególnie spektroskopii jądrowego rezonansu magnetycznego i spektrometrii mas zmieniło sytuację diametralnie. Obecnie metody te osiągnęły taki stopień rozwoju, że budowę skomplikowanego związku naturalnego można jednoznacznie określić w ciągu kilku godzin, nawet gdy dysponuje się ilością poniżej miligrama. Ostatecznym

potwierdzeniem budowy związków krystalicznych jest krystalografia rentgenowska, pozwalająca ustalić dokładnie położenie poszczególnych atomów badanego związku w przestrzeni. Rozwój technik rezonansu jądrowego do badań związków organicznych umożliwił opracowanie metod wykorzystujących ten rodzaj spektroskopii w diagnostyce medycznej.

1.3. Chemia produktów naturalnych

Chemia produktów naturalnych ma długą historię. Obserwacje, że niektóre rośliny i inne organizmy żywe zawierają substancje o wysokiej aktywności biologicznej poczyniono już w zamierzchłych czasach. Medycyna ludowa знаła rośliny wykazujące działanie lecznicze na wiele dolegliwości. Wykorzystywano również toksyczne właściwości niektórych roślin i grzybów dla usuwania konkurentów, zatruwania strzał itp. Nic więc dziwnego, że w miarę rozwoju chemii, a szczególnie technik wydzielania i oczyszczania związków organicznych, wiele uwagi poświęcono wydzielaniu indywidualnych związków chemicznych odpowiedzialnych za aktywność biologiczną. Znakomitym przykładem może służyć chinina. Ekstrakt z kory chinowca, drzewa rosnącego w Południowej Ameryce, stosowano od dawna jako lek przeciwko malarii. Jednak dopiero w 1820 r. wydzielono z tego źródła czystą chininę. Znalazła ona szerokie zastosowanie jako lek przeciwmalaryczny, lecz jej budowa została określona, a następnie potwierdzona syntezą przeszło 100 lat później. Wydzielenie i identyfikacja związków czynnych biologicznie z organizmów żywych było i jest nadal obszarem intensywnych badań. Badania te mają charakter poznawczy i praktyczny. Cel poznawczy, to ustalenie roli jaką związki te spełniają w organizmach żywych, np. obrona przed zagrożeniem ze strony potencjalnych konsumentów - drapieżników lub roślinożerców, regulacja funkcji życiowych i inne, a także ustalenie ich biochemicznej drogi syntezy. Praktyczne znaczenie tych badań wynika z faktu, że często wykazują one działanie lecznicze lub stanowią wskazówki w poszukiwaniu nowych leków. Ilustracją tego może być przykład kurary używanej do zatruwania strzał, która jest pierwowzorem preparatów niezbędnych przy operacjach chirurgicznych lub taksolu, związku wydzielonego z kory cisa, aktywnego leku przeciwnowotworowego. Niezmiernie ważne było odkrycie feromonów, lotnych

związków organicznych wykorzystywanych przez owady do komunikacji w okresie rozrodczym.

Chemia produktów naturalnych nie ogranicza się do wydzielania, identyfikacji, syntezy i ewentualnego wykorzystania związków biologicznie czynnych. Ogromny i znacznie ważniejszy rozdział stanowią badania związków (substancji), z których zbudowane są organizmy żywe – białek, polisacharydów, lipidów, związków sterujących procesami syntezy tych substancji i innymi procesami życiowymi. Te zagadnienia są obszarem badań biochemii i chemii bioorganicznej, w skrócie omówię je w innym miejscu.

2. Rola osiągnięć chemii organicznej w zapewnieniu komfortu życia codziennego

W ciągu ostatnich 100 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 znacznie się również zwiększył komfort życia codziennego – dostępność urozmaiconej żywności, odzieży, środków higieny i upiększania i in. Decydującą rolę w uzyskaniu tego postępu odgrywa chemia, a szczególnie chemia organiczna.

Znaczenie chemii organicznej w zapewnieniu komfortu życia codziennego przedstawię omawiając jej rolę w zapewnieniu dostępności i jakości wyżywienia, odzieży, higieny, ochrony zdrowia, mieszkań, środków przekazu i transportu.

2.1. Rolnictwo i żywność

Jeszcze na początku ubiegłego stulecia rolnictwo miało charakter naturalny, a rozwój szkodników był kontrolowany równowagą biologiczną, co nie zawsze zapewniało skuteczną ochronę. Rozwój rolnictwa, a szczególnie uprawa

monokultur na dużych obszarach stworzyła dogodne warunki dla rozwoju szkodników – owadów, chwastów i grzybów patogennych. W tej sytuacji konieczna jest skuteczna ochrona 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 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 i fungicydy, środki grzybobójcze.

Poszukiwania nowych, aktywnych i selektywnych pestycydów są prowadzone przez wiele firm i laboratoriów. Interesujący jest przykład ważnej grupy insektycydów, tzw. pyretroidów, będących analogami produktów naturalnych, które chronią pewne rośliny gatunku chrysantemum przed owadami. Z natury rzeczy główną rolę w poszukiwaniach nowych 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 środków 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.

2.2. Odzież

Ludzie od dawna wykorzystują włókna naturalne do wytwarzania odzieży zapewniającej ochronę przed niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi. Od zamierzonych czasów do tego celu służą bawełna, len, jedwab i wełna. 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. Do czyszczenia i prania stosowano środki myjące, mydła, produkty hydrolizy tłuszczu, a barwniki uzyskiwano ze źródeł naturalnych, roślin, owadów, małży na drodze empirycznie opanowanych procesów chemicznych. Rozwój chemii organicznej umożliwił syntezę ogromnej gamy barwników. Były one pierwszymi produktami wytwarzanymi drogą syntezy organicznej. Obecnie dostępny repertuar barwników zapewnia uzyskanie dowolnych barw i odcieni o dużej trwałości. Równoległe z postępowaniem w syntezie barwników nastąpił postęp w otrzymywaniu związków powierzchniowo czynnych, które są podstawą dla środków czyszczących i piorących, a także szerokiego asortymentu tzw. środków pomocniczych – uszlachetniających produkty włókiennicze. Należą do nich wybielacze optyczne, środki zapobiegające brudzeniu, gnicieniu itd.

Ogromne znaczenie dla wytwarzania odzieży mają włókna syntetyczne, których opracowanie i produkcję zawdzięczamy chemii organicznej. Pierwsze włókna częściowo syntetyczne wytwarzano drogą chemicznej modyfikacji celulozy uzyskiwanej z drewna, była to tzw. wiskoza. Następnie odkryto i opanowano syntezę 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 politereftatan glikolu etylenowego. Sądzę, że przedstawione wyżej przykłady przekonywująco ilustrują znaczenie chemii organicznej dla wytwarzania odzieży.

2.3. Higiena

Tradycyjne środki czystości – mydła, sole sodowe lub potasowe kwasów tłuszczowych, to typowe produkty chemii organicznej wytwarzane drogą hydrolizy tłuszczu (estrów kwasów tłuszczowych i gliceryny). Mydła są uszlachetniane dodatkami barwników i środków zapachowych, które są również produktami chemii organicznej. Poznanie zjawiska tzw. czynności powierzchniowej i powiązanie jej z budową związków organicznych otworzyło drogę do syntezy szerokiego asortymentu związków powierzchniowo czynnych – anionowych, kationowych i obojętnych, które często wykazują działanie bakteriostatyczne. 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.

2.4. Ochrona zdrowia

Wprowadzenie do leczenia pierwszych leków syntetycznych, aspiryny i salvarsanu otworzyło drogę do nowoczesnej medycyny. Salvarsan, organiczny związek arsenu był pierwszym bakteriostatycznym lekiem syntetycznym, skutecznie zwalczającym kiłkę. Już 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 lecznictwa 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 naukochlonna i najszybciej rozwijająca się gałąź przemysłu. Poszukiwanie nowych leków to proces niezmiernie skomplikowany i kosztowny. Koszt wprowadzenia nowego leku do lecznictwa znacznie przekracza 500 mln 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. Rola syntezy organicznej jako drogi uzyskania nowego leku jest więc oczywista.

2.5. Mieszkania

Mieszkania, budownictwo, to głównie domena chemii nieorganicznej – cement, cegły, wapno, włókna, kleje mineralne i inne. Udział chemii organicznej jest również i w tym obszarze znaczący. Do ocieplania budynków szeroko stosowane są pianki z polistyrenu, produktu polimeryzacji styrenu wytwarzanego metodami syntezy organicznej. Produkty syntezy organicznej są również szeroko wykorzystywane w wyposażeniu wnętrz. Meble wykonane są najczęściej z drewna impregnowanego środkami chroniącymi przed grzybami i owadami, a farby i lakiery to również związki organiczne. Wykładziny, dywany są najczęściej wykonane z włókien syntetycznych i barwione syntetycznymi barwnikami.

2.6. Środki przekazu

Zarówno tradycyjne jak i nowoczesne środki przekazu szeroko wykorzystują produkty wytwarzane drogą syntezy organicznej. Książki i prasa zużywają ogromne ilości papieru, farb i lakierów. Papier to celuloza odpowiednio uszlachetniona dodatkami i klejami wytworzonymi syntetycznie. Farby drukarskie i lakiery zapewniające wysoką jakość druku i fotografii, to również produkty syntezy organicznej. 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.

2.7. Transport

W celu wykazania znaczenia chemii organicznej dla transportu wystarczy omówić przykład samochodu.

W budowie i eksploatacji samochodu szeroko wykorzystywane są produkty syntezy organicznej. Opony zrobione są z przetworzonej gumy, która jest polimerem butadienu, izoprenu, styrenu i innych monomerów z syntetycznymi dodatkami uszlachetniającymi. Lakier samochodowy zawiera barwniki, pigmenty i polimery odporne na działanie światła, temperatury i starzenie. Tablica rozdzielcza, wykładziny wnętrza, pokrycia foteli i inne wytworzone są z różnych rodzajów tworzyw sztucznych. Smary, płyny hamulcowe, a przede wszystkim paliwo, to związki organiczne częściowo wytwarzane na drodze syntezy organicznej. Sądzę, że nie ma potrzeby przedstawienia innych przykładów wykorzystania produktów syntezy organicznej w środkach transportu.

3. Rola chemii organicznej w naukach o życiu i o tworzywach sztucznych

Chemia organiczna stanowi podstawę nauk o życiu. Organizmy żywe zbudowane są z typowych polimerycznych związków organicznych: celulozy, skrobi, białek, tłuszczu, 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.

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. 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 polimeru: 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. Te ostatnie 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. Znaczenie chemii organicznej jako narzędzia badawczego procesów życiowych ilustruje opracowanie metod 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. Z jednej strony umożliwia zrozumienie funkcjonowania organizmów żywych i drogi przekazywania sygnałów w sieci nerwowej, jak również pozwala poznać przyczyny pewnych schorzeń i zastosować odpowiednią kurację.

Trudno wyobrazić sobie funkcjonowanie nowoczesnego społeczeństwa i gospodarki bez szerokiego wykorzystania tworzyw sztucznych. Są one obecne wszędzie, począwszy od lakieru do paznokci, jednorazowych strzykawek i pojemników do kroplówek w szpitalach, poprzez komputery, ogumienie i wnętrza samochodów, odzież i materiały w budownictwie do konstrukcji pojazdów kosmicznych. Z powodu ogromnego znaczenia i szerokiego zastosowania tworzyw sztucznych są one przedmiotem oddzielnego opracowania w tym zbiorze. Ograniczę się więc do przedstawienia relacji między chemią organiczną a tworzywami sztucznymi. Podstawę tworzyw sztucznych jako materiałów do wytwarzania przedmiotów użytkowych są polimery – cząsteczki organiczne zbudowane z łańcuchów zawierających tysiące atomów węgla i innych pierwiastków – najczęściej tlenu i azotu. Synteza cząsteczki polimeru polega na połączeniu wielkiej liczby małych cząsteczek (monomerów), tzw. reakcji polimeryzacji. Reakcje polimeryzacji są typowymi procesami chemii organicznej powtarzanymi wielokrotnie. Tak więc wytwarzanie polimerów to typowe procesy chemii organicznej: synteza monomeru a następnie polimeryzacja czyli wielokrotnie powtarzany proces przyłączania. Procesy polimeryzacji są wykorzystywane nie tylko do otrzymywania polimerów, z których wytwarza się tworzywa sztuczne i przedmioty użytkowe. Duże znaczenie ma polimeryzacja dla wytwarzania elementów konstrukcyjnych *in situ* oraz klejenia.

Procesy klejenia to często reakcje chemii organicznej, w których cząsteczki monomeru po dodaniu katalizatora, inicjatora lub odpowiedniego reagenta ulegają przemianie w polimer łączący dwie powierzchnie.

Mam nadzieję, że wybrane osiągnięcia chemii organicznej i jej znaczenie jako nauki poznawczej, a także jej udział w zapewnieniu komfortu życia codziennego zostały przedstawione przekonująco, co zwiększy zainteresowanie tą fascynującą dyscypliną naukową.