



Stowarzyszenie Inżynierów i Techników
Przemysłu Chemicznego
Redakcja miesięcznika CHEMIK nauka-technika-rynek

SŁONECZNA CHEMIA

CHEMIA JEST W NAS I WOKÓŁ NAS

Gliwice 2010

Koordynatorzy Projektu Słoneczna Chemia

Prof. dr hab. inż. Jacek Kijeński
Prof. dr hab. inż. Stefan Zieliński
Mgr inż. Anna Czumak-Bieniecka

Redakcja

Mgr inż. Anna Czumak-Bieniecka
Dr inż. Maria Jamróz-Piegza
Mgr Danuta Bonczar

Wydanie publikacji dofinansowano ze środków MNiSW
(umowa nr 902/DWB/P/2009 z 02.12.2009)
uzyskanych przez Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego

ISBN 978-83-925546-8-4

Wydawca

ZW CHEMPRESS-SITPChem
Redakcja miesięcznika CHEMIK nauka-technika-rynek
44-100 Gliwice, ul. Górnych Wałów 25
www.miesiecznikchemik.pl

Skład

Lechosław Węglorz • www.betstudio.net

Okładka

Grzegorz Glanc

Druk

Zakład Poligraficzno-Wydawniczy SITPChem
Gliwice 44-107, ul. Plebiscytowa 1

©ZW CHEMPRESS-SITPChem

Gliwice 2010

SPIS TREŚCI

WSTĘP	5
TRZY ROZMOWY	
Chemia – nie jako nauka, tylko jako zespół, wielki obszar zjawisk – istniała zawsze – Jacek KIJEŃSKI	9
Chemia jest niezbędna w rozwiązywaniu problemów współczesnej cywilizacji – Stefan ZIELIŃSKI	15
Dlaczego branża chemiczna ma tak duże znaczenie?! – Chrystian JOURQUIN	21
PUBLIKACJE	
Chemia jest nauką interdyscyplinarną i ma ogromne znaczenie w wielu innych dziedzinach – Marian TANIEWSKI	25
Chemia zażegnała widmo głodu na świecie. Żywność i nawozy – Mariusz FOTYMA	43
Chemia buduje – Lech CZARNECKI	61
Biotechnologia: Dr Jekyll czy Mr Hyde? – Paweł KAFARSKI	79
Chemia i farmacja bliżej natury, czyli jak przedłużyć życie w zdrowiu – Iwona WAWER	93
Kosmetyki naturalne, czy „naturalne”? – Iwona KONOPACKA-BRUD	109
Kiedy identyczne oznacza identyczne – Marta KIJEŃSKA	123
Zrównoważony rozwój polskiego przemysłu chemicznego – wyzwania i bariery – Anna GIETKA, Wojciech LUBIEWA-WIELEŻYŃSKI	139
Ryzyko chemiczne. Ocena i zarządzanie – Stefan ZIELIŃSKI	147
AUTORZY	167

WSTĘP

Jeszcze w 2009 roku Rada Programowa miesięcznika CHEMIK nauka-technika-rynek i Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego podjęły działania, które miały służyć zmianie świadomości społecznej w odniesieniu do chemii i sformułowaniu argumentów w dyskusji o roli i znaczeniu chemii we wszystkich dziedzinach współczesnego życia oraz w rozwoju cywilizacyjnym świata. Przygotowany został Projekt Słoneczna Chemia, którego najważniejszym celem jest utrwalenie pierwszorzędnej roli chemii w rozwiązywaniu problemów cywilizacyjnych we wszystkich dziedzinach nauki i techniki. Działania takie były niezbędne wobec wzrastającego negatywnego społecznego wizerunku chemii, wynikającego przede wszystkim z niechętnego chemii przekazu medialnego i braku właściwej edukacji. Od entuzjazmu, ciekawości i fascynacji chemią jeszcze w latach 50. XX w. w Polsce, obecnie ma ona społecznie kontekst często pejoratywny. Chociaż z osiągnięć chemii korzystamy wszyscy na co dzień w każdej dziedzinie współczesnego życia. Pomijając chemiczny charakter życia, naszych emocji i nastrojów, wszystko to, co składa się na osiągnięcia cywilizacji i kultury wymaga wyposażenia materialnego, materiałów i substancji chemicznie przetwarzanych w wyniku zastosowania praw chemii i fizyki.

Bez chemii nie byłoby wielu pięknych zdarzeń w historii świata, nie byłoby sztuki druku, ani otrzymywania papieru, ani tkanin; nie powstałyby wielkie dzieła malarstwa, ani nie przetrwałyby myśl i doświadczenie wielu uczonych i badaczy. Nie byłoby budowania, ani zapisu informacji... Świat byłby szary, smutny, zimny i głodny.

Chemia jest wszechobecna, a jako zespół, wielki obszar zjawisk, istniała zawsze. Realizacja Projektu Słoneczna Chemia ma skrócić społeczeństwu drogę do zrozumienia rzeczywistej roli człowieka w świecie.

Zbyt ważna jest teraz i będzie w przyszłości rola chemii także w gospodarce, a więc w życiu każdego z nas, żeby nie zadbać o właściwe nastawienie społeczne do chemii. Także dlatego, aby sprzyjać prawidłowym decyzjom dotyczącym udziału i rozwoju chemii w gospodarce. Konieczność merytorycznej dyskusji na temat chemii wiąże się nierozzerwalnie z budową społeczeństwa opartego na wiedzy i ma ogromne znaczenie dla przyszłego rozwoju Polski, który właś-

nie teraz pilnie wymaga podejmowania decyzji dotyczących wyboru najważniejszych kierunków rozwoju. Do realizacji określonych strategii rozwoju niezbędna będzie akceptacja społeczna, a do jej uzyskania racjonalne myślenie, a nie emocje. Takie myślenie musi dotyczyć chemii i być poparte wiedzą i rzetelną informacją. To istotny cel Projektu Słoneczna Chemia. Bardzo ważne jest pokazanie nie tylko współczesnej i przyszłej roli chemii, wskazanie na pomoc, jaką oferuje chemia w rozwiązywaniu problemów cywilizacyjnych, ale również swego rodzaju oswojenie ludzi z chemią i pokazanie, że jest jedną z wielu nauk służących człowiekowi. Rzetelny, merytoryczny medialny przekaz ma obecnie – w społeczeństwie informacyjnym – znaczenie pierwszorzędne.

Chemia była, jest i będzie – niezależnie od naszego do niej zaufania. Jednak im wcześniej nabierzemy zaufania, ale i ostrożności w obchodzeniu się z chemią, tym lepiej.

Projekt Słoneczna Chemia przyniósł wielorakie narzędzia do spełniania założonych celów. W niniejszej książce prezentujemy publikacje znakomitych Autorów, którym za teksty, współpracę i życzliwość serdecznie dziękujemy.

Redakcja



TRZY ROZMOWY |
O PROJEKCIE SŁONECZNA CHEMIA

CHEMIA – NIE JAKO NAUKA, TYLKO JAKO ZESPÓŁ, WIELKI OBSZAR ZJAWISK – ISTNIAŁA ZAWSZE

rozmowa z Panem Profesorem *Jackiem KIJENSKIM*, Prezesem Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego, Warszawa

Panie Profesorze, projekt Słoneczna Chemia – nowa świadomość społeczna w odniesieniu do chemii, inicjatywa Rady Programowej miesięcznika CHEMIK i Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego, ma służyć przede wszystkim przywróceniu właściwego, merytorycznie uzasadnionego, pojmowania chemii i jej oddziaływania na inne nauki. Dlaczego takie działania są niezbędne?

Działania są niezbędne, dlatego że społeczny wizerunek chemii jest w tej chwili bardzo negatywny. Chemia jest postrzegana jako zagrożenie dla zdrowia i dla środowiska. Bierze się to najprawdopodobniej, niestety, z bardzo negatywnego przekazu mediów prześcigających się w poszukiwaniu sensacji. Media przejęły obecnie rolę, którą kiedyś spełniała plotka. A pamiętamy, że plotka była zawsze znacznie ciekawsza, jeśli niosła złe wiadomości. Teraz próbuje się straszyć społeczeństwo różnymi zagrożeniami. Nasz świat jest wysoce schematyzowany, zatem współczesna plotka „trafia” w chemię; chyba taki jest fundament obecnej niechęci do chemii. Do tego dochodzi jeszcze brak właściwej edukacji. Trzeba stanowczo powiedzieć, że zmarginalizowana w procesie nauczania została rola chemii, która obok fizyki jest przecież podstawową nauką ścisłą i właściwie podstawą funkcjonowania całego materialnego otoczenia człowieka. Wiedza o chemii jest przekazywana przez w niepełni kompetentnych dystrybutorów, którzy dostarczają nie w pełni wiarygodne komunikaty pozbawionemu innych źródeł informacji społeczeństwu. Tak buduje się fatalny, przerażający obraz świata! Pozostaje to w oczywistej sprzeczności z rzeczywistością. Pamiętajmy, że natura źle użytkowana niesie takie same zagrożenia, jak te szeroko upowszechniane jako wynikające z chemii.

Natura potrafi przecież truć: muchomor sromotnikowy, wilcza jagoda, rośliny zawierające liczne alkaloidy, nieświeże produkty spożywcze... Zagrożenia z nimi związane wynikają z „niewłaściwego użytkowania”, przekraczania pewnych barier rozsądku. Świat jest niebezpieczny dla tych, którzy nadużywają jego dobrodziejstw.

Czyli przekaz medialny wziął górę nad obiektywną prawdą?

Na pewno tak. Przy czym trzeba powiedzieć, że pracowano nad tym nieprawdziwym, złym wizerunkiem chemii wiele lat. Od entuzjazmu, od ciekawości i fascynacji wszechstronnością i możliwościami chemii, które ja jeszcze pamiętam ze szkoły, po pejoratywny najczęściej teraz kontekst. Przecież z osiągnięć farmacji, kosmetologii, czy chemii żywności korzystamy wszyscy na co dzień. Tymczasem medialny przekaz jest zupełnie inny.

Celem projektu jest przekonanie społeczeństwa o roli chemii jako najważniejszej, pierwszorzędnej w rozwiązywaniu współczesnych problemów także w innych dziedzinach nauki i techniki. Pan Profesor mówi „świat według chemii – najważniejsze triumfy chemii są porównywalne z największymi osiągnięciami kulturalnymi ludzkości”...

Dla mnie jest to oczywiste. Pomijając nawet sprawę chemicznego charakteru życia, mało tego, chemicznego charakteru naszych emocji, naszych nastrojów, w tym również tak wzniosłych uczuć, jak miłość. Przecież wszystko to, co nazywamy osiągnięciami cywilizacji i kultury wymaga wyposażenia materialnego. Wyposażenie materialne ludzkości, czyli cała baza materialna cywilizacji, to materiały i substancje chemiczne przetwarzane w wyniku zastosowania praw chemii i praw fizyki. Bez chemii nie byłoby wielu pięknych zdarzeń w historii świata. Według jednej z teorii, źródeł chemii, to egipska *khemeya* albo grecka *kahamia*. Khemeya, to sztuka Egiptu. Piękność Nefreteti była podkreślana barwnikami i kosmetykami, które Egipcjanie potrafili wytwarzać. To istotny okres w historii kultury materialnej, który uczynił nasze życie bardziej godnym. Ogień grecki, pierwszy napalm, bronił Imperium Bizantyjskiego przed zakusami książąt ruskich i Arabów. Pierwszy atrament, był zawieszoną odpowiednio przygotowanej sadzy w oleju; bez chemii nie byłoby sztuki druku. Nie byłoby także sztuki otrzymywania papieru i tkanin, w konsekwencji nie powstałyby wielkie dzieła sztuki, nie przetrwałyby myśli, ani doświadczenie wielu myślicieli, uczonych i badaczy. Impresjoniści stworzyli nowy sposób malowania, wykorzystując dostępność nowych farb, które w tamtym czasie – w wyniku wielkich osiągnięć niemieckich i angielskich uczonych – zaczynały produkować niemieckie koncerny. Podobne fakty i zdarzenia można by mnożyć. Nie byłoby sztuki ubierania, budowania, zapisu informacji. Świat byłby szary i smutny, zimny i głodny.

Projekt przewiduje zebranie w kilkunastu wykładach znakomitych Autorów argumentów i przedstawienie ich w nowoczesnej formie edukacyjnej. Pan Profesor ma ogromne doświadczenie nie tylko w pra-

cy akademickiej, ale też w formułowaniu programów edukacyjnych na niższych poziomach kształcenia. Co jest najważniejsze? Jakie działania mogą być najbardziej skuteczne, aby jak najszerszej zainteresować chemią młodzież?

Odpowiedź na to pytanie mogłaby być bardzo długa... Ważna jest zarówno treść, jak i metoda. Przekaz wiedzy, wskazanie roli chemii w życiu człowieka, musi mieć charakter ponadprzedmiotowy. Trzeba pokazać związki pomiędzy wieloma dziedzinami wiedzy; nie tylko naukami ścisłymi, ale również dziedzinami humanistycznymi, literaturą, sztuką a chemią. Pokazać rolę chemii w rozwoju cywilizacji. Już o tym wspominałem, ale przecież potęgą kolejnych imperiów w historii, to opanowywanie sztuki wytopu metali, sztuki wykorzystania surowców mineralnych, wreszcie rozwój sztuki przetwórstwa materiałów. To wszystko budowało imperia, które ginęły, gdy wyprzedzili je następcy – odkrywcy nowych związków i metod wytwarzania chemikaliów. Pokazanie potęgi chemii, to właśnie wskazanie związków pomiędzy chemią i tym, co w bardzo szerokim pojęciu jest godnym życiem człowieka. Oczywiście równie ważna jak treść jest metoda. Młody człowiek powinien poznawać świat w takim właśnie toku indukcyjno-dedukcyjnym. Zatem, najpierw wiedza, a potem dokonywanie pewnych uogólnień na podstawie własnych obserwacji, w zestawieniu z historycznym rozwojem bazy materialnej cywilizacji. Jest to bardzo trudne, ale myślę, że niesłuchanie ważne. Te treści powinniśmy najpierw przekazać nauczycielom. Moim zdaniem, chemia w szkołach jest nie tylko zmarginalizowana, ale jest także nie najlepiej nauczana. Oczywiście realizacja naszego projektu nie zapewni możliwości fizycznego dotknięcia (przynajmniej na tym etapie), organoleptycznego kontaktu z substancjami chemicznymi i sprawdzenia ich właściwości. To jest być może przyszłość. Człowiek, który ma kontakt z jakimś bytem materialnym oswaja się z nim znacznie łatwiej niż wtedy, kiedy ten byt pozostaje tylko w opisie słownym. Przecież wiemy wszyscy z własnych doświadczeń, że to, co wydaje się straszne w opowieści, może być przyjazne w bezpośrednim kontakcie.

Ważnym celem projektu Słoneczna Chemia jest dostarczenie argumentów w dyskusji z przeciwnikami chemii, przedstawienie merytorycznych wyjaśnień. Dlaczego chemia, którą pół wieku temu niosło hasło: żywi-leczy-buduje, teraz musi się bronić? Akurat chemia, wszechobecna w nauce i w gospodarce!

Myślę, że tak jak powiedziałem, u korzeni negatywnego pojmowania chemii leży zły medialny przekaz i brak wiedzy, brak znajomości podstawowych praw fizyki i chemii, a także pewne przyzwolenie społeczne. Przyzwolenie na budowa-

nie karier formacji politycznych na ruchach pseudoekologicznych. Budowanie obrazu świata, z którym należy walczyć na niekoniecznie prawdziwych, ale „lotnych” przekazach. Do tego potrzebny jest obiekt, który będzie ofiarą. I tak się niestety stało, że ofiarą jest chemia.

Może do obrony trzeba użyć tych samych narzędzi?

Tak, ale bez przesady. Przypomnę podstawową zasadę filozofii, która mówi o tym, że nie można udowodnić, że coś czymś nie jest. Wobec tego udowodnienie, że chemia nie szkodzi, jest prawie niemożliwe. Natomiast udowodnić, że chemia żywi, buduje, leczy – to bardzo proste. Myślę, że warto użyć takich marketingowych narzędzi, które pozwolą przerysowywać pewne rzeczy, oczywiście bez mijania się z prawdą. To bardzo ważne. To jest to, co określa się mianem barwnego PR, w konkurencji z czarnym PR. Chemia jest wszechobecna. Substancje, które są podstawą współczesnej farmacji i medycyny, substancje, które chronią rośliny, które wspomagają naszą dietę, substancje, które pozwalają kobietom być pięknymi i te wydzielające wspaniałe aromaty, materiały lekkie, odporne, o znakomitych własnościach użytkowych. Przecież to wszystko, to chemia! W gruncie rzeczy wszyscy tego bardzo chcemy i potrzebujemy. Ale niestety zawsze znajdzie się ktoś, kto będzie usiłował propagować czarną wizję. Jak wszyscy wiemy, nie tylko w sprawie chemii. Niestety jakoś tak jest, że jesteśmy podatni na czarne wizje, a to właśnie buduje tę nieprzyjazną atmosferę.

Równie ważna jest rola chemii i przemysłu chemicznego w rozwoju gospodarczym, cywilizacyjnym współczesnego świata. Na czym polega fenomen chemii?

W historii można rozróżnić dwa okresy: pierwszy – alchemii, to jest ten okres, kiedy najważniejsze było poznanie i drugi (który mniej więcej datuje się w początkach romantyzmu w Europie Zachodniej) – kiedy człowiek postanowił być współczesnym demiurgiem i współuczestniczyć z Bogiem w tworzeniu świata. Zresztą taka jest przecież nasza rola, również ta widziana oczami zachodniego chrześcijaństwa. Do tego współuczestniczenia potrzebna była chemia, właśnie te substancje i materiały, o których wcześniej wspominałem. Bo przecież naszym zadaniem jest żyć godnie i stwarzać warunki godnego życia. Bez chemii tego nie ma. I stąd, sądzę, fenomen i wszechstronna rola chemii w rozwoju gospodarczym. Dzisiaj stają przed światem i przed chemią nowe zadania, bo energii mamy coraz mniej, żyć chcielibyśmy coraz dłużej i myśląc o zrównoważonym rozwoju, chcielibyśmy być odpowiedzialni nie tylko za naszych prapraprawnuków, ale również za nasze dzieci, za to żeby one także mogły żyć godnie. Aby to wszystko pogodzić, zrównoważony rozwój nie może polegać na rezygnacji,

tylko na maksymalnym wykorzystaniu istniejących możliwości. To wykorzystanie bez praktycznej chemii nie jest możliwe. Gdy zaś chodzi o priorytet dla przemysłu chemicznego jako najważniejszego w rozwoju gospodarczego, to chyba z tym sobie zupełnie nie radzimy. Trzeba otworzyć oczy wielu decydentom. W zarządzaniu gospodarką ciągle brakuje zrównoważenia pomiędzy istnieniem ponadnarodowej, ponadpaństwowej własności zakładów w wielu branżach przemysłowych i interesem narodowym, który jest związany z bezpieczeństwem surowcowym i energetycznym, niezależnie od sejmowych parytetów i wygranych wyborów. Te sprawy ważne są w długim czasie i zawsze powinniśmy o naszym państwowym interesie pamiętać. Nie można więc zostawiać pewnych spraw, licząc na to, że rozwiąże je wolny rynek. Jak pokazuje bowiem praktyka niefortunnej restrukturyzacji naszego przemysłu od lat już prawie 20., niestety taka praktyka do niczego nie prowadzi. Tak samo brak jest sukcesów dzisiaj, jak przed prawie ćwierć wiekiem. Bez strategii i bez obrony swojego interesu niewiele zrobimy. Wobec tego nie są prawdziwym rozwojem strategicznym działania w przemyśle chemicznym w Polsce, nawet jeżeli w krótszych czy dłuższych okresach nasze zakłady przemysłowe będą osiągały znaczące, czy mniej pozytywne, wyniki finansowe. To jest sprawa, która sięga dużo dalej i tutaj jest bardzo wiele do zrobienia. Rozumiały to w przeszłości wielkie imperia. Ja myślę, że nasi decydenci powinni uważnie przeczytać dzieła *Eugeniusza Kwiatkowskiego*, który znakomicie wyjaśnia, na czym polega interes narodowy, niebędący wcale w konflikcie z interesem ponadpaństwowych organizacji.

Rok 2011 został ogłoszony Światowym Rokiem Chemii. Czyja to inicjatywa i jakie są przygotowania innych chemicznych gremiów?

To inicjatywa IUPAC – Międzynarodowej Unii Chemii Czystej Stosowanej. Międzynarodowy Rok Chemii, a jednocześnie Rok Marii Skłodowskiej-Curie – wielkiego człowieka, wielkiego badacza, dwukrotnej laureatki Nagrody Nobla. Pokazanie roli *Marii Skłodowskiej-Curie* oraz chemii w rozwoju świata. Pyta Pani o przygotowania innych chemicznych gremiów. Ja mogę powiedzieć przede wszystkim o działaniach Komitetu Chemii PAN. Komitet będzie tu aktywny; będzie bardzo starannie przygotowywał akcję propagandową związaną z rolą *Marii Skłodowskiej-Curie*, z jej osiągnięciami; planowane są także akcje o charakterze popularyzatorsko-propagandowym, w które włączony jest również nasz program „Słoneczna Chemia”. Uważam, że jest tutaj jeszcze jedna szansa do wykorzystania. Promując nasz naród, nasz kraj poprzez osiągnięcia *Marii Skłodowskiej-Curie* nie powinniśmy zapominać o innych wielkich chemikach polskich, którzy stawiali milowe, a może stumilowe, kamienie w rozwoju chemii

i nauki, a także praktyki światowej. Mam tu na myśli profesorów *Olszewskiego* i *Wróblewskiego*, którzy przy ulicy św. Anny w Krakowie skroplili powietrze. Także *Lukaszewicza* i jego fundamentalne osiągnięcia dla procesów przerobu ropy naftowej. Myślę także o profesorze *Wojciechu Świętosławskim*, wybitnym fizyko-chemiku, szczególnie bliskiemu naszemu Stowarzyszeniu, oraz o profesorze *Tadeuszu Urbańskim*, który był pionierem współczesnych materiałów wybuchowych i wreszcie o profesorze *Mieczysławie Mąkoszy*, mam nadzieję kolejnym Nobliście w naszej nauce. Uważam więc, że nie powinniśmy ograniczać tej promocji tylko do *Marii Skłodowskiej-Curie*.

Środowisko chemików, nie tylko w Polsce, od wielu lat sygnalizuje potrzebę szerokiej akcji informacyjnej o chemii – jako fascynującej nauce i filarze współczesnej cywilizacji. Niezbędnej w realizowaniu światowej idei zrównoważonego rozwoju. Projekt Słoneczna Chemia znakomicie wpisuje się w te inicjatywy. Czy zatem projekt Słoneczna Chemia znajdzie sojuszników w innych kręgach – naukowych, gospodarczych, akademickich?

Sądzę, że naturalnym naszym sojusznikiem będzie Polskie Towarzystwo Chemiczne. Jednym z autorów cyklu publikacji ma być poprzedni prezes PTCh, prof. *Paweł Kafarski*. Myślę, że sprzymierzą się z nami również wszyscy ci, którym leży na sercu dobro chemii i pozytywny jej wizerunek. Jak już powiedziałem, negatywny wizerunek, obawa są hamulcami rozwoju i przez to utrudniają życie wszystkim. To bardzo ważne, aby wszyscy ludzie dobrej woli byli naszymi sojusznikami. Chciałbym, żeby realizacja naszego programu skróciła drogę naszemu społeczeństwu do poznania, czy zrozumienia, rzeczywistej roli człowieka w świecie. Chemia była, jest i będzie – niezależnie od tego, czy będziemy mieli do niej podejście ufne, czy nieufne. Im wcześniej nabędziemy zaufania, ale jednocześnie ostrożności w obchodzeniu się z chemią, tym będzie dla nas lepiej. Bo nie było nas, a chemia – nie jako nauka, tylko jako zespół, wielki obszar zjawisk – istniała zawsze.

rozmawiała Anna BIENIECKA

(wywiad z 5 listopada 2009 r.)

CHEMIA JEST NIEZBĘDNA W ROZWIĄZYWANIU PROBLEMÓW WSPÓŁCZESNEJ CYWILIZACJI

rozmowa z Panem Profesorem *Stefanem ZIELIŃSKIM*, Przewodniczącym Rady Programowej miesięcznika CHEMIK nauka-technika-rynek

Panie Profesorze, projekt Słoneczna Chemia – nowa świadomość społeczna w odniesieniu do chemii – inicjatywa Rady Programowej naszego miesięcznika i Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego ma służyć przede wszystkim przywróceniu właściwego, merytorycznie uzasadnionego, pojmowania chemii i jej oddziaływania na inne nauki. Dlaczego takie działania są niezbędne?

Tak, działania są niezbędne. A dlaczego? Bo zbyt ważna jest teraz i będzie w przyszłości rola chemii w gospodarce, a więc w życiu każdego z nas. Tymczasem negatywne nastawienie opinii publicznej, które przecież przekłada się na opinie polityków, nie sprzyja prawidłowym decyzjom dotyczącym udziału i rozwoju chemii w gospodarce. Nie jest to wcale specyfika naszego kraju. W drugiej połowie lat 90. ubiegłego wieku narodziła się w Unii idea przeprowadzenia w całej Europie wspólnej kampanii wszystkich centrów naukowych i muzeów technicznych w celu zrównoważenia negatywnego obrazu chemii w oczach społeczeństwa. Uruchomiony w jej wyniku w 1997 r. przez CEFIC i konsorcjum europejskich centrów naukowych i muzealnych projekt Chemia dla Życia (*Chemistry for Life*) miał na celu dostarczenie społeczeństwu, a w szczególności młodzieży, wiedzy dla lepszego zrozumienia roli chemii w życiu codziennym. Jak więc widać, takie złe nastawienie opinii publicznej jest rozpowszechnione i – co zastanawia – spośród wszystkich nauk dotknęło tylko chemię, pomimo początkowej fascynacji jej osiągnięciami. Ale fascynacja szybko zamieniła się w niechęć, a nawet we wrogość. Stało się tak po opublikowaniu przez R. Carson w 1962 r. słynnej książki „*Silent Spring*”, o negatywnym wpływie pestycydów, a ściślej DDT, na organizmy ptaków. Niestety w tej zmianie nastawienia do chemii i potem pogłębianiu takiej tendencji, duży, jeżeli nie wręcz decydujący udział miały i nadal mają media. Przede wszystkim dlatego, że traktują problem bardziej w kategoriach sensacji aniżeli rzeczowej informacji. Odwrócenie tego trendu jest konieczne. Tym bardziej, że – co także jest zastanawiające – mimo deklarowanej niechęci, zapotrzebowanie na produkty chemiczne stale rośnie.

Ale jest jeszcze dodatkowy powód, o charakterze powiedziałbym strategicznym, dla którego merytoryczna dyskusja na temat chemii powinna być podjęta. Wiąże się on z budową społeczeństwa opartego na wiedzy i ma ogromne znaczenie dla przyszłego rozwoju naszego kraju. Będzie on wymagał podejmowania decyzji dotyczących wyboru najważniejszych kierunków rozwoju. Niektóre takie decyzje będą rzeczywiście trudne. Na przykład wybór kierunku rozwoju energetyki. Do realizacji przyjętych kierunków rozwoju (zakładając oczywiście, że nadal będziemy żyli w systemie demokratycznym) niezbędna będzie akceptacja społeczna; aby ją zyskać, podstawą dyskusji powinno być racjonalne myślenie, a nie emocje. Wyniki badań z dziedziny nauk społecznych jednoznacznie wskazują, że lepiej wyedukowane grupy społeczne podejmują bardziej racjonalne decyzje. Dlatego osobiście uważam za bardzo celowe przywrócenie obowiązkowego egzaminu z matematyki na maturze. Nie chodzi tu wcale o kształcenie matematyków, lecz o kształtowanie określonego sposobu myślenia. Taki sam sposób myślenia musi także dotyczyć chemii – wiedza i rzetelna informacja – takiemu celowi powinien przede wszystkim służyć nasz program.

Celem projektu jest przekonanie społeczeństwa o roli chemii jako najważniejszej, pierwszorzędnej w rozwiązywaniu współczesnych problemów także w innych dziedzinach nauki i techniki. Pan Profesor Jacek Kijeński porównuje „najważniejsze triumfy chemii z największymi osiągnięciami kulturalnymi ludzkości”...

Oczywiście nie chodzi tu o bezpośrednie porównywanie. Porównywalność osiągnięć ludzkości w dziedzinie kultury i nauki, a szczególnie chemii, można ująć w ten sposób, że o ile osiągnięcia kulturalne ludzkości zmieniły sposób postrzegania przez nas świata, to osiągnięcia nauki, w tym szczególnie chemii, zmieniły świat. I tak właśnie można porównywać osiągnięcia w obydwu sferach.

Natomiast przekonywanie społeczeństwa o bardzo ważnej, jeżeli nie pierwszorzędnej roli chemii nie może polegać tylko na prezentowaniu odkryć. Dla większości ludzi będzie to albo mało interesujące, albo mało zrozumiałe. Prezentując największe osiągnięcia chemii trzeba przede wszystkim pokazać, jak pomogły one pokonać zagrożenia: dla zdrowia i życia ludzi (farmacja), zapobiec klęskom głodu (nawozy) lub podnieść poziom życia (tworzywa, włókna syntetyczne itp.). Analogicznie powinna być pokazana obecna i przyszła rola chemii. Uważam, że główny nacisk trzeba położyć na pomoc, jaką oferuje chemia w rozwiązywaniu problemów nękających społeczeństwa – teraz i w przyszłości. I że bez chemii nie będzie można ich rozwiązać. Przykładem może być chociaż-

by problem odpadów komunalnych – wokół nas rośnie coraz większa i większa góra odpadów – wobec wzrastającej ciągle konsumpcji... Nie przemysłowych, bo z tymi firmy produkcyjne musiały już sobie poradzić, ale właśnie odpadów komunalnych.

Projekt przewiduje zebranie w kilkunastu wykładach znakomitych Autorów argumentów i przedstawienie ich w nowoczesnej formie edukacyjnej. Pan Profesor ma doświadczenie w pracy akademickiej, także w formułowaniu programów edukacyjnych.... Co jest najważniejsze? Jakie działania mogą być najbardziej skuteczne, aby jak najszerzej zainteresować chemią i przekonać do chemii?

Wydaje mi się, że w pierwszym rzędzie należy określić adresata takich działań. Do jakiego pokolenia chcemy najszerzej dotrzeć? Czy do pokolenia ludzi dorosłych? Czy do młodzieży, a nawet dzieci? Charakter i forma takich działań nie mogą być przecież dla różnych grup jednakowe. Realizowany przez CEFIC projekt (*Chemistry for Life*) ukierunkowany był głównie na młode pokolenie, co także dla nas może być wskazówką, gdzie należy położyć główny nacisk. Jeżeli bowiem celem naszego programu ma być kształtowanie postaw, to należy zacząć od najmłodszych, najwcześniej. Dla tego kręgu odbiorców, z uwagi na chłonność młodych umysłów na rzeczy nowe, właściwą drogą będzie budzenie zainteresowania; nie tylko przez pokazy widowiskowych reakcji, ale również, a może przede wszystkim, poprzez wskazanie, zwrócenie uwagi, na powszechnie spotykane w życiu codziennym różnorodne materiały, których dostarcza chemia; jak niewiele surowców zużywa do ich wytworzenia. Dla starszych generacji, o niestety ustalonych już negatywnych opiniach o chemii, to znacznie trudniejsze zadanie, gdyż dotyczy działań zmierzających do zmiany postaw. Tymczasem ludzie znacznie łatwiej i szybciej zmieniają postawy (lub oceny) pozytywne na negatywne niż odwrotnie. Dlatego każde działanie, które przyczyni się do upowszechnienia przekonania, że narodziny i rozwój chemii nie było, ani nie jest otwarciem puszką Pandory, będziemy mogli uznać za sukces. Pozostaje jeszcze problem formy. W przypadku programów edukacyjnych adresowanych do młodego pokolenia sprawa wydaje się prostsza, choćby poprzez włączenie elementów Projektu Słoneczna Chemia do programów nauczania chemii w szkołach, oczywiście w porozumieniu z władzami oświatowymi i kadrą nauczającą. Zwłaszcza porozumienie z kadrą nauczającą będzie ważne dla prawidłowej realizacji programu. Problemy natury technicznej i organizacyjnej nie będą szczególnie trudne. Pewne kłopoty mogą być natomiast związane z przygotowaniem materiałów; zarówno forma jak i język muszą być zrozumiałe

dla tego kręgu odbiorców. Tymczasem wiadomo, że język nauki jest bardzo hermetyczny. Zatem nie tylko treść i forma, ale także język prezentacji, muszą być przystępne. Trudniejsze będzie – moim zdaniem – dotarcie do szerokich kręgów społeczeństwa. Prezentowanie przygotowanych materiałów w prasie czy wydawnictwach specjalistycznych oznacza dotarcie do tylko bardzo wąskiego grona odbiorców. Wiadomo, że dostęp spraw naukowych i merytorycznej fachowej debaty do szeroko pojętych mediów jest bardzo trudny, drogi i – nie tylko dla chemików – incydentalny. Trudność tę powiększa fakt, że przeciwnicy chemii taki dostęp już od dawna mają – łatwiejszy i tańszy. Nie powinno to nas jednak wcale zniechęcać przed poszukaniem nowych sposobów i form przekazu.

Ważnym celem projektu Słoneczna Chemia jest dostarczenie argumentów w dyskusji z przeciwnikami chemii, przedstawienie merytorycznych wyjaśnień. Dlaczego chemia, którą pół wieku temu niosło hasło: żywi-leczy-buduje, teraz musi się bronić? Akurat chemia, wszechobecna w nauce i w gospodarce!

Jak bym tak ostro sprawy nie stawiał. Że chemia musi się bronić. Bo nie jest atakowana chemia jako taka, a tylko stosowanie jej niektórych produktów. Na tym też powinna opierać się nasza argumentacja. Obserwowane niekiedy negatywne efekty związane są często, najczęściej, z niewłaściwym stosowaniem lub wręcz nieuczciwością. Wysoki poziom DDT w tkankach ptaków morskich i wywołany tym negatywny wpływ na reprodukcję, o czym pisze Profesor R. Carson w swojej książce, spowodowany został nadmiernym stosowaniem tego związku przez plantatorów bawełny w Stanach Zjednoczonych chroniących w ten sposób swoje uprawy. Ale równocześnie ten sam DDT okazał się zbawiennym środkiem do oczyszczenia wielu krajów Europy po II wojnie światowej ze szkodliwych insektów. Podobne przykłady można mnożyć. Jako motto dla takiej dyskusji może znakomicie posłużyć znane zdanie średniowiecznego alchemika Paracelsusa: „Wszystko jest trucizną i nic nie jest trucizną, bo tylko dawka czyni truciznę”. Musimy jednak zdawać sobie sprawę, że wśród przeciwników chemii występuje bardzo szerokie spektrum postaw i motywacji – od rzeczywistej troski o zdrowie ludzi czy stan środowiska aż do zwykłego koniunkturalizmu. Do tych ostatnich nie przemówią żadne argumenty i chyba nie należy oczekiwać zmiany ich stanowiska.

Panie Profesorze, bardzo ważna jest także rola chemii i przemysłu chemicznego w rozwoju gospodarczym, cywilizacyjnym współczesnego świata. Na czym więc polega fenomen chemii?

Na to pytanie nie jest łatwo odpowiedzieć. Przecież nie tylko chemia jest fe-

nomenem. Co powiedzieć o innych naukach? Jeżeli jednak chcemy wskazać na coś niezwykłego w chemii, to chyba przede wszystkim na jej praktycznie wszechobecność w naszym życiu. Już samo życie jest przecież wynikiem wielu, bardzo skomplikowanych, ale jednak reakcji chemicznych. Jesteśmy w coraz większym stopniu otaczani produktami chemii i w coraz większym stopniu od nich zależni. Odpowiadając na zapotrzebowanie społeczne, chemia stale dostarcza nowe produkty. Od tej drogi nie ma już odwrotu. Bo odwrót oznaczałby klęskę, albo wręcz zagładę naszej cywilizacji. A rola i dalszy rozwój przemysłu chemicznego ma na celu tylko (aż!) zaspokojenie tych potrzeb i zapewnienie społeczeństwu bezpieczeństwa.

Już Pan Profesor wspominał o programie realizowanym przez CEFIC – Chemistry for Life... To znaczy, że środowisko chemików podejmuje wyzwanie i spełnia swój obowiązek – wobec fałszywych przekazów medialnych – przywrócenia należnej roli i znaczenia chemii – poprzez merytoryczne wyjaśnienia i pobudzanie ciekawości. Co w opinii Pana Profesora jest najważniejsze w tych działaniach? Co może być najbardziej skuteczne i dlaczego?

Nie kierowałbym się tylko pobudzaniem ciekawości czy wzrostem zainteresowania. Zbudowanie na tym nowego wizerunku chemii ma – moim zdaniem – małe szanse. Musimy pamiętać, że chemia ma obecnie wielu znacznie silniejszych konkurentów w tym zakresie. Ważniejsze, moim zdaniem, będzie pewnego rodzaju oswojenie ludzi z chemią, pokazanie, że chemia jest przede wszystkim jedną z wielu nauk służących człowiekowi, że jej rola jest rolą służebną.

Środowisko chemików od wielu lat sygnalizuje potrzebę szerokiej akcji informacyjnej o chemii – jako filarze współczesnej cywilizacji, niezbędnej w realizowaniu światowej idei zrównoważonego rozwoju. Nasz Projekt wpisuje się w te inicjatywy. Czy zatem projekt Słoneczna Chemia znajdzie sojuszników w innych kręgach – naukowych, gospodarczych, akademickich?

Mam wątpliwości, czy idea zrównoważonego rozwoju jest na tyle powszechnie znana i rozumiana, aby można było ją wykorzystać do argumentowania niezbędności chemii...

Sojuszników znajdziemy na pewno w kręgach związanych bezpośrednio czy pośrednio z chemią. Ale to są gracze z tej samej co my drużyny. Musimy wobec tego poszukiwać sojuszników także w kręgach niezwiązanych z chemią. Nie ma co ukrywać, najcenniejszymi byliby sojusznicy z kręgów medialnych. Istnieje Polskie Stowarzyszenie Dziennikarzy Naukowych – ich zaangażowanie

się w upowszechnianie, choćby częściowe, naszych haseł byłoby pomocą nie do przecenienia. Bardzo zachęcam do nawiązania z nimi współpracy. Bo jak wspomniałem na początku naszej rozmowy, największy wpływ na sukces Projektu Słoneczna Chemia – ceniąc bardzo wszystkie podejmowane w ramach Projektu działania – będzie miał rzetelny, merytoryczny medialny przekaz.

Bardzo dziękuję za rozmowę i wskazówki Pana Profesora.

*rozmawiała Anna BIENIECKA,
(wywiad z 30 października 2009 r.)*

DLACZEGO BRANŻA CHEMICZNA MA TAK DUŻE ZNACZENIE?!

Christian JOURQUIN (Solvay) – President of European Chemical Industry Council

Nie ma wątpliwości, że bez wsparcia branży chemicznej praktycznie żaden sektor przedsiębiorczy nie mógłby wytwarzać tak wielu produktów, których istnienie jest dla nas oczywiste! Gama produktów wytwarzanych ze wsparciem branży chemicznej jest ogromna – od gospodarstwa domowego po wyroby farmaceutyczne, od laptopów po telefony komórkowe, od branży motoryzacyjnej aż po sektor budowlany. W codziennym życiu używamy niezliczoną ilość produktów pochodzenia chemicznego. Niewiele jest osób, które dziś poddają w wątpliwość wkład branży chemicznej w funkcjonowanie nowoczesnych społeczeństw.

Jednak korzyści płynące z branży chemicznej nie zawsze są zauważalne, niewiele osób w ogóle zdaje sobie z tego sprawę. Przekaz medialny o branży, czy przemyśle chemicznym, dotyczy zazwyczaj obaw i potencjalnych problemów związanych z substancjami chemicznymi. Jest rzeczą oczywistą, że chemicy, menedżerowie i naukowcy dokładają wszelkich starań, aby przemysł chemiczny był coraz doskonalszy pod względem bezpieczeństwa i ochrony zdrowia. Dzięki programowi „Odpowiedzialność i Troska” („Responsible Care”), będącego częścią zaangażowania przemysłu chemicznego w zrównoważony rozwój, firmy chemiczne – uczestnicy tego Programu, stale poprawiają działania w zakresie ochrony środowiska i zdrowia; ograniczają wpływ swojej działalności na środowisko. Przemysł chemiczny wydał nie tylko sporo pieniędzy i poświęcił wiele czasu, ale także dołożył różnorodnych starań, aby wdrożenie rozporządzenia WE 1907/2006 REACH, które określa nowe wytyczne bezpiecznego stosowania chemikaliów, zakończyło się sukcesem.

Naszym najważniejszym zadaniem jest zwiększenie świadomości społeczeństwa w odniesieniu do branży chemicznej, szczególnie wśród młodych ludzi; przekazanie i przekonanie, że jej rola i znaczenie są niepodważalne. Chcemy uświadomić, że sektor chemiczny jest nie tylko ważną dziedziną nauki, a więc szansą na rozwój osobistej kariery, ale także jest w stanie zaproponować rozwiązania wielu ważnych problemów i wyzwań naszych czasów. Także tych związanych ze zmianami klimatycznymi. Bez społecznej akceptacji, bez otwarcia na postęp techniczny w branży chemicznej, trudno będzie zbudować społeczeń-

stwo XXI w. w Europie; społeczeństwo oparte na wiedzy. A to jedyny sposób i pewna droga do zapewnienia sukcesu gospodarczego i dobrobytu w przyszłości.

Niezbędne jest zapewnienie stałego naboru wysoko wykształconych i wykwalifikowanych pracowników w przemyśle chemicznym, który stopniowo przekształca się w technicznie zaawansowany, wykorzystujący najnowsze wyniki badań. Dlatego jednym z najistotniejszych priorytetów przemysłu chemicznego w najbliższych latach jest zachęcanie młodych ludzi do podejmowania kariery naukowej w przemyśle. Firmy chemiczne, często działające w skali światowej, przyjmują nowych pracowników w wielu różnych regionach świata. W Europie w ostatnich dziesięcioleciach liczba młodych inżynierów i naukowców chemików znacząco spadła.

CEFIC od wielu lat podejmuje działania na rzecz wzrostu zainteresowania chemią, wyjaśniania ważnej roli nauki i przemysłu chemicznego oraz wskazywania jej znaczenia w innych dziedzinach nauki, gospodarki, w życiu codziennym współczesnych społeczeństw. W 1997 r. zainicjowaliśmy wspólny projekt „Chemia w życiu codziennym” (*Chemistry for life*), przemysłu chemicznego, europejskich muzeów i ośrodków technicznych, które odgrywają ważną rolę w upowszechnianiu myśli naukowej wśród młodych ludzi. Wiele firm dodatkowo opracowało własne programy, np. dni otwarte, i we współpracy ze szkołami podstawowymi, pokazywały wybrane instalacje, chcąc zainteresować dzieci chemią już od najmłodszych lat.

Znaczenie i konieczność podejmowania podobnych działań ciągle wzrasta.

Ogłoszenie roku 2011 Międzynarodowym Rokiem Chemii pod patronatem UNESCO, organizowanego przez Międzynarodową Unię Chemii Czystej i Stosowanej (IUPAC) jest niezwykle ważne. Może być milowym krokiem dla zainteresowania młodego pokolenia chemią, zaciekawienia i ponownego przyciągnięcia wielu mądrych, błyskotliwych osób do chemii i skupionego wokół niej przemysłu.

Dzięki europejskiemu programowi Budowanie zaufania (*Build Trust*), CEFIC stosuje strategię zwiększającą świadomość społeczeństwa, dzieli się informacjami o podejmowanych działaniach zarówno poszczególnych firm, jak i całego przemysłu chemicznego. Wskazuje także możliwości rozwiązywania przez przemysł chemiczny problemów związanych ze zmianami klimatycznymi. W istocie produkty chemiczne są pierwszorzędne w przeciwdziałaniu zmianom klimatycznym. Ich zastosowanie pozwoli sukcesywnie znacząco zmniejszać emisję CO₂ – także w branży budowlanej i w transporcie. Ponadto, współpraca firm

chemicznych i podmiotów edukacji na poziomie krajowym i europejskim umożliwi lepsze zrozumienie chemii i branży chemicznej.

Jako prezes European Chemical Industry Council, chciałbym pogratulować naszym polskim partnerom ambitnego projektu. Wierzę, że SUNNY CHEMISTRY odniesie sukces!



PUBLIKACJE |

CHEMIA JEST NAUKĄ INTERDYSCYPLINARNĄ I MA OGROMNE ZNACZENIE W WIELU INNYCH DZIEDZINACH

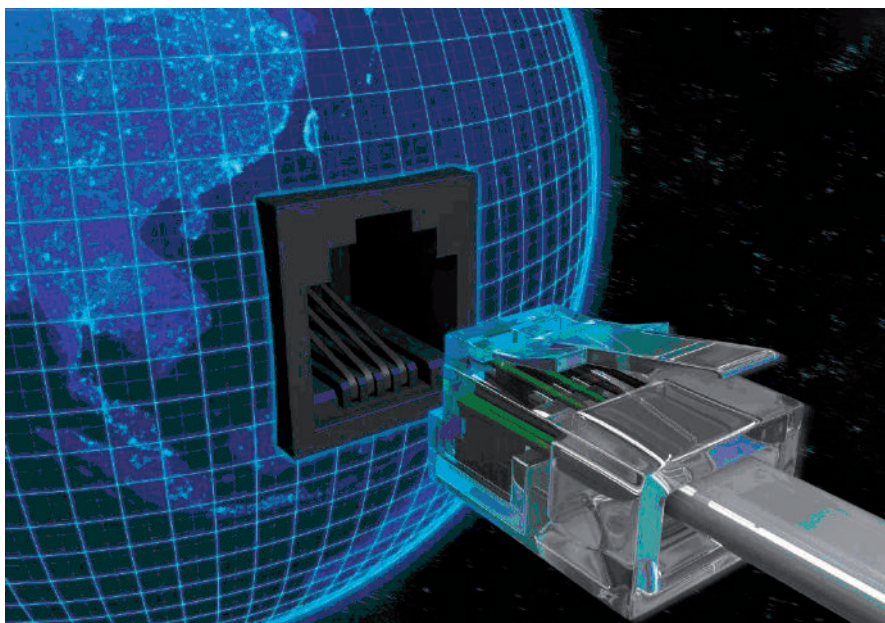
TANIEWSKI Marian

Omówiono rozwój i cechy współczesnej chemii, a także jej poznawczą i cywilizacyjną misję. Zwrócono uwagę, że po erze rolniczej, przemysłowej i naukowo-technicznej, świat wkracza w Wiek Środowiska (a także informatyki), w którym cywilizacja podąża drogami opartymi nie tylko na potrzebie opanowywania przyrody, ale także umiejętności harmonijnego z nią współżycia. Będzie to okres realizacji tzw. proekologicznej strategii zrównoważonego trwałego rozwoju (*sustainable development*), w którym wprowadzane będą zrównoważone technologie podporządkowane pokonywaniu barier rozwojowych (materiałowej, surowcowej, ekologicznej). W odniesieniu do chemii identyfikowana jest dodatkowo bariera psychologiczna – objawy niechęci społecznej i strachu przed chemią.

Wspomniano o działaniach branży chemicznej na rzecz samodoskonalenia poprzez inicjowanie i realizację wielu prośrodowiskowych programów.

Omówiono pojęcie „interdyscyplinarna chemia” oraz rolę chemii w rozwiązywaniu globalnych problemów świata. Konstatując, że chemia w istocie współkształtuje przyszłość, Autor wyraża opinię, że w interesie ludzkości jest rozkwit i słoneczna przyszłość chemii.

Słowa kluczowe: rozwój i cechy współczesnej chemii, multidyscyplinarne nauki chemiczne, poznawcza i cywilizacyjna misja chemii, chemia jako centralna nauka, proekologiczne zrównoważone technologie chemiczne, bariery rozwojowe, chemofobia, interdyscyplinarna chemia, chemia a globalne zagrożenia, „słoneczna” przyszłość chemii



CHEMISTRY IS AN INTERDISCIPLINARY SCIENCE AND IS VERY IMPORTANT FOR MANY OTHER DISCIPLINES

TANIEWSKI Marian

The paper discusses the development and features of contemporary chemistry, and also its cognitive and civilisation mission. After the eras of agriculture, industry, and science and technology, the world entered the “Age of Environment” (and of information technology), where civilisation follows not only the roads of harnessing the nature, but also those of harmonious coexistence with the nature. This age will be a period of implementing the strategy of sustainable development, when sustainable technologies, aimed at overcoming growth barriers (material, energy and environmental barriers), will be introduced. In the case of chemistry, one more barrier has been identified: a psychological barrier – manifested by social aversion to and fear of chemistry.

Mention is made of “self-improvement” activities of the chemical sector consisting in initiating and carrying out a number of environmental programmes.

The concept of “interdisciplinary chemistry” is discussed along with the role of chemistry in solving global problems of the world. Concluding that chemistry does, in fact, shape the future, the author expresses the opinion that the growth and sunny future of chemistry is in the interest of humankind.

Keywords: development and features of contemporary chemistry, multidisciplinary chemical sciences, cognitive and civilisation mission of chemistry, chemistry as the central science, environment-friendly sustainable chemical technologies, growth barriers, chemophobia, interdisciplinary chemistry, chemistry and global threats, “sunny” future of chemistry

CHEMIA JEST NAUKĄ INTERDYSCYPLINARNĄ I MA OGROMNE ZNACZENIE W WIELU INNYCH DZIEDZINACH¹

Marian TANIEWSKI

„Dzieje chemii i przemysłu chemicznego biegną dalej naprzód! W tej dziedzinie nie ma ani stacji końcowej, ani stanu nasycenia, ani skrzepnięcia fali wielkiej ewolucji”

EUGENIUSZ KWIATKOWSKI

*(„Dzieje chemii i przemysłu chemicznego”,
WNT, Warszawa 1962, s. 283)*

Naukoznawstwo, filozofia nauki, w tym także filozofia chemii, wskazują, iż nauki ulegają w miarę upływu czasu istotnym zmianom w zakresie przedmiotu studiów, narzędzi oraz zadań, i dlatego charakterystyka określonej nauki i jej roli w rozwoju duchowym i cywilizacyjnym ludzkości musi odnosić się każdorazowo do konkretnej epoki. Zresztą, wszystko zmienia się na tym najlepszym ze światów. Być może właśnie odwieczność i powszechność zachodzących zmian jest tym jedynym, co jest niezmiennie. Niniejsze rozważania dotyczyć więc będą przede wszystkim próby identyfikacji cech współcześnie wyróżniających chemię (lub raczej: nauki chemiczne). Aby jednak lepiej ocenić cechy i rolę współczesnej chemii, cofnijmy się na chwilę do jej prapoczątków.

Chemia ma dwojake pochodzenie. Jeden z jej korzeni stanowi starogrecka filozofia przyrody (Empedokles, Anaksagoras, Demokryt i inni), czerpiąca również ze źródeł Dalekiego Wschodu, która w oparciu o podstawy logiki, tworząc wizję kontynualistyczną lub atomistyczną świata, rozpatrywała problemy właściwości materii i jej przemian. To z tego spekulatywnego (nieempirycznego) korzenia wyrosła *chemia*, pojmowana jako wiedza podstawowa. Drugi korzeń stanowią starożytne rzemiosła (wytop metali, garbowanie skór, barwienie tkanin itp.), będące źródłem praktycznej wiedzy o zachowaniu substancji. W miarę rozwoju, ten nurt związany był z postęпами alchemii, chemii praktycznej. To z tego techniczno-użytkowego korzenia wyrosła *technologia chemiczna*. Przez

¹ W tekście wykorzystano fragmenty własnych publikacji [1+3].

wiele stuleci, mimo rozwoju obydwu obszarów, niemal nie istniał związek pomiędzy nimi. Dopiero na przełomie XVIII i XIX wieku, kiedy zarówno chemia jak i technologia chemiczna przybrały już postaci nauk (chemia od czasów Boyle'a, zaś technologia chemiczna od czasów Beckmanna), pojawiły się powiązania, które w miarę upływu czasu stawały się coraz trwalsze, a cele użytkowe i poznawcze zaczęły się stopniowo uzupełniać i przenikać. Ten proces nadal trwa. Ale wcześniej ukształtowały się wyraziście różnice między obu dyscyplinami: chemia zajęła się szerokim asortymentem substancji i ich przemian, technologia chemiczna – nieliczną grupą substancji i materiałów wytwarzanych w większej skali, lecz za to z całą otoczką fizycznych, mechanicznych, ekonomicznych i innych czynników towarzyszących. Chemia zajmuje się początkowo głównie badaniem składu i właściwości materiałów, a następnie stopniowo koncentruje swoją uwagę na strukturze i reaktywności, a więc na *reakcji chemicznej*, a technologia chemiczna, będąca fundamentem przemysłu chemicznego i przemysłów pokrewnych, na *procesie chemiczno-technologicznym*, stając się *nauką o procesach i produktach*. Chemia należy niewątpliwie do głównego nurtu nauk przyrodniczych, technologia chemiczna należy równocześnie do dyscyplin technicznych i przyrodniczych. Obie są naukami ścisłymi, doświadczalnymi. W miarę upływu lat, w chemii, obok reakcji syntezy nieorganicznych, a zwłaszcza organicznych związków chemicznych, coraz większe zainteresowanie budzą reakcje chemiczne procesów życiowych, reakcje i struktura stanów przejściowych, zjawiska agregacji i samoorganizacji molekuł w układy supramolekularne, nanostruktury i in. W technologii chemicznej, z kolei, obok procesów realizowanych w wielkiej skali, dotyczących produkcji nieorganicznej, rafineryjnej, petrochemicznej, polimerów, energetyki i paliw oraz wielu innych, pojawiła się także produkcja materiałów wytwarzanych w średniej i małej skali dla potrzeb elektroniki, optoelektroniki, fotoniki, farmaceutyków, części zamiennych organizmów żywych, implantów itd. itp. W różnych stadiach rozwoju obu nauk obserwuje się więc zmiany szczegółowych zadań i celów, co jak wspomniano wcześniej, nie jest niczym szczególnym w historii nauk. Mimo tych zmian, pozostał trwałym nadrzędny cel: wydarcie naturze tajemnic dotyczących materii i jej przemian na poziomie molekularnym (chemia) oraz wykorzystanie tej wiedzy w praktyce do produkcji coraz bardziej doskonałych wyrobów (technologia chemiczna).

W miarę rozwoju chemii i technologii chemicznej, nasilać się zaczęły znane z naukoznawstwa, charakterystyczne dla dojrzałych stadiów rozwoju nauk i postępującej specjalizacji, procesy **dezintegracji**, tj. wyodrębniania poszcze-

gólnych działów i przeistaczania ich w samodzielne dyscypliny (subdyscypliny). Z chemii zostały wyodrębnione: chemia nieorganiczna, chemia organiczna, chemia analityczna, chemia fizyczna, a później chemia teoretyczna, chemia jądrowa, chemia leków, chemia atmosfery, geochemia, chemia polimerów, chemia koloidów, chemia koordynacyjna, chemia supramolekularna, chemia komputerowa (informatyczna) i in., a z technologii chemicznej: technologia nieorganiczna, technologia organiczna, inżynieria chemiczna, a następnie również działy branżowe, takie jak najstarsza technologia barwników, technologia związków azotowych, technologia materiałów ogniotrwałych, technologia farb i lakierów, technologia paliw, technologia petrochemiczna, technologia polimerów i szereg innych. Odtąd mówiono, iż niekiedy o **naukach chemicznych** w liczbie mnogiej. Toteż współcześnie, pojęcie „chemia” pojmowane jest bądź to w sposób tradycyjny i odnosi się wyłącznie do wiedzy podstawowej, bądź też niekiedy używane jest w sensie nadrzędnego pojęcia zbiorczego, scalającego, będącego synonimem całej multidyscyplinarnej grupy „nauk chemicznych”, obejmujących wszystkie szczegółowe dyscypliny wyodrębnione z chemii i z technologii chemicznej. W tym drugim znaczeniu, „chemia” ma więc dwojakie oblicze: nauki przyrodniczej, obejmującej dyscypliny szczegółowe stanowiące jeden z fundamentów powszechnej wiedzy o świecie, jego prawach, budowie i zmianach materii na poziomie molekularnym oraz *nauki stosowanej*, będącej fundamentem produkcji chemicznej, obejmującej dyscypliny szczegółowe z *pogranicza nauk przyrodniczych i technicznych* (technologia chemiczna) lub z grupy *nauk technicznych* (inżynieria chemiczna). Niżej termin „chemia”, w zależności od kontekstu, używany będzie w obydwu znaczeniach. Dodać też trzeba, iż w potocznym języku termin „chemia” stosowany jest coraz częściej również wobec przemysłu chemicznego, a także (przeważnie pejoratywnie) wobec chemicznych składników produktów użytkowych lub też (w znaczeniu korzystnym) wobec nawiązanych wzajemnie życzliwych więzi międzyludzkich.

Choć procesy dezintegracji nie zostały jeszcze zakończone, w pewnych obszarach przebiegają równocześnie nie zawsze dostrzegane procesy postępującej **reintegracji**, to jest stopniowego zbliżania i ponownego łączenia niektórych działów chemii, a zwłaszcza technologii, wcześniej wyodrębnionych w samodzielną funkcjonującą dyscyplinę. Sprzyja temu narastająca świadomość, iż to, co wspólne przeważa nad tym, co specyficzne. Wyraźnie obserwuje się, na przykład, przejawy reintegracji technologii nieorganicznej i organicznej, a także innych dyscyplin poprzednio wyodrębnionych z technologii chemicznej, czemu również sprzyjają: rozwój teoretycznych podstaw technologii chemicznej,

wspólne strategiczne kierunki rozwoju (nowe technologie procesów na granicy faz, komputerowe sterowanie procesami technologicznymi i in.), a także powstawanie i rozwój mieszanych kompleksów przemysłowych: nieorganiczno-organicznych, chemiczno-paliwowych, energochemicznych poligeneracyjnych itp. Stopniowo zbliżają się też do siebie obszary technologii chemicznej, jako nauki o procesach i produktach oraz wyodrębnionego z niej w przeszłości działu, następnie ukształtowanego w formie inżynierii chemicznej.

Obecnie przeżywany przełomowy okres przemian zachodzących w rozwoju cywilizacji technicznej (patrz niżej) sprzyja też, w obszarze nauk chemicznych, stopniowo postępującym procesom całościowego zbliżenia obydwu głównych nurtów chemicznych: podstawowego i stosowanego. Obserwuje się stopniowy zanik dotąd wyrazistej granicy pomiędzy tym, co podstawowe, wyłącznie poznawcze, i tym, co stosowane. Sprzyja temu m. in. rosnące znaczenie obszarów interdyscyplinarnych i dalszy wzrost stopnia nasycenia osiągnięciami nauki przez sferę produkcji chemicznej. Zwłaszcza technologia chemiczna odgrywa w tym procesie zbliżenia istotną rolę z uwagi na swoje szczególne, charakterystyczne cechy: 1) jest nauką o wyjątkowo rozwiniętych więziach interdyscyplinarnych, powiązaną z wieloma naukami podstawowymi i stosowanymi; 2) jest pomostem łączącym podstawowe nauki chemiczne z przemysłem chemicznym i przemysłami pokrewnymi.

W kręgach naukowych wzrasta zrozumienie potrzeby wspierania zarówno procesów reintegracji dyscyplin w ramach chemii, jak również interdyscyplinarnych powiązań chemii. Mimo zachodzących zmian, współczesna szeroko pojęta chemia pozostaje nadal nauką multidyscyplinarną.

Aktualną i przyszłą rolę nauki oraz praktyki chemicznej we współczesnym świecie można najkrócej przedstawić w sposób następujący:

- *Chemia* była, i pozostanie w swojej współczesnej formie jedną z kilku fundamentalnych dziedzin nauki zmierzających do poznania świata, materii, jej przemian i rządzących nimi praw. Chemia pozostaje jedną z podstaw wielu innych dyscyplin naukowych. Jest nauką o zasadniczej roli dla zrozumienia zjawisk natury, biologicznych, środowiskowych, medycznych i innych. Służy edukacji, rozwojowi osobowości i intelektu człowieka.

- *Chemia, technologia chemiczna i przemysł chemiczny* są obecnie i pozostaną w przyszłości jednym z głównych filarów cywilizacji i kultury. Nie sposób wyobrazić sobie życia ludzkości bez produktów chemii, bez nowoczesnych materiałów i bez stosowania metod chemicznych w niemal wszystkich obszarach ludzkiej działalności. Chemia, technologia chemiczna i przemysł chemiczny będą

zawsze jednym z istotnych narzędzi służących tworzeniu bogactwa, poprawie jakości życia i zapobieganiu globalnym zagrożeniom świata.

- *Przemysł chemiczny*, wyróżniający się szczególnym uzależnieniem od nauki i stałym wprowadzaniem najnowszych osiągnięć nauki („naukochłonnością”) a równocześnie charakteryzujący się wysokim udziałem materiałów produkowanych przez siebie nie na użytek własny, lecz innych obszarów gospodarki (przemysł zaopatrzeniowy, kooperacyjny), dzięki obu wymienionym właściwościom łącznie, znajdować się będzie zawsze w czołówce gałęzi przemysłu tworzących i niosących postęp, innowacje i rozwój wszystkim obszarom życia człowieka.

Jak widać, analiza roli i zadań szeroko pojętej chemii wskazuje, że zajmuje ona wśród innych dziedzin nauki i praktyki szczególną pozycję. Jest ona następstwem oczywistego faktu, iż człowiek i wszystko, co nas otacza, a więc cała przyroda ożywiona i nieożywiona, cały świat, wszystkie produkty i zjawiska, stanowią wielkie laboratorium przemian chemicznych. Nie jest więc, z pewnością, złudzeniem ani profesjonalną megalomanią chemików pogląd, akceptowany zresztą przez szerokie kręgi socjologów, filozofów, ekonomistów i innych, iż **chemia, technologia chemiczna i oparty głównie na ich osiągnięciach przemysł chemiczny (oraz przemysły pokrewne), mają i mieć będą zawsze do spełnienia szczególną poznawczą i cywilizacyjną misję.**

Nic zatem dziwnego, iż swoje znane dwutomowe dzieło-podręcznik, wydane jeszcze w końcu lat 70. ub. w. (i wznawiane później wielokrotnie), amerykańscy autorzy T. L. Brown i H. E. LeMay, Jr. Zatyтуłowali „Chemistry – The Central Science”, a w tekście napisali „Chemia jest centralną, fundamentalną nauką, ściśle związaną z niemal każdym przejawem naszych kontaktów z materialnym światem, a także stanowi nierozzerwalną część ogólnoludzkiej kultury” [4]. Znaczące scjentometryczne argumenty wspierające tezę o centralnej pozycji chemii wśród nauk (główni współcześni konkurenci to matematyka i biochemia) znaleźć można w literaturze [5]. Nie dziwi opinia laureata Nagrody Nobla Arthura Kornberga, iż „Chemia jest *lingua franca* medycyny i biologii. Życie to tylko chemia, w istocie mały przykład chemii na pojedynczej planecie świata” [5]. Nie może również dziwić zachwyt laureata Nagrody Nobla Prof. Sir Cyrila N. Hinshelwooda, kiedy oświadcza: „Chemia: to wspaniałe dziecko intelektu i sztuki”, a także pogląd innego laureata Nagrody Nobla Richarda R. Ernsta, który pisze: „Przemysł chemiczny jest dzisiaj głównym filarem ludzkiej cywilizacji i kultury. Bez przemysłu chemicznego, społeczność ludzka, w jej obecnych i przyszłych formach, jest nie do pomyślenia” [6] lub wreszcie opinia filozofa nauki Evandro

Agazzi'ego, który stwierdza: „Chemia tworzy substancje z nowymi właściwościami, tworzy świat” [7] i podobne poglądy wyrażane przez wielu, wielu innych. Trzeba jednak wspomnieć, że wśród niektórych filozofów nauki i fizyków zdarzają się również opinie, które przy pełnej akceptacji niezwyklej roli chemii i jej produktów, cechuje skłonność do redukcjonowania roli chemii jako nauki do zawartych w niej praw i zjawisk fizyki. Polemikę z takimi poglądami można znaleźć w wielu publikacjach, zwłaszcza autorstwa filozofów chemii [8].

Dopiero co minione, ale także nadchodzące dziesięciolecia, stanowią niewątpliwie okres przejściowy w rozwoju cywilizacji ziemskiej, kiedy po erze rolniczej, przemysłowej i naukowo-technicznej wkroczyliśmy w „**Wiek Środowiska**” (a także informatyki). Świat, będąc świadom zagrożenia wynikających z niebezpiecznie wysokiego stopnia ingerencji człowieka w środowisko i z rozmiarów już dokonanych zniszczeń, uznał, iż w tym wieku nie powinien być już nadal realizowany dotychczasowy bezrefleksyjny model rozwoju, traktujący permanentny nieograniczony wzrost produkcji jako podstawowy cel i drogę postępu, bez względu na uboczne skutki. Nastąpić musi reorientacja hierarchii wartości, na których opiera się cywilizacja i kultura. Realizowany być musi nowy humanitarny model rozwoju cywilizacji, który zapewni trwałą równowagę pomiędzy koniecznym zaspokajaniem społeczno-ekonomicznych potrzeb ludzkości a wymogami szeroko pojętej ochrony środowiska. Ma to być wiek, w którym cywilizacja podaży drogami opartymi nie tylko na potrzebie opanowywania przyrody, ale również umiejętności harmonijnego z nią współżycia. Ma on być, zatem, okresem realizacji tzw. **proekologicznej strategii zrównoważonego trwałego rozwoju** (ang. *sustainable development*) będącego „humanitarną koncepcją rozwoju, pojmowanego jako globalna strategia, mająca na celu poprawę jakości życia i dobrobytu ludzkości, w warunkach ograniczonych ziemskich zasobów i przy uwzględnieniu dalekosiężnych skutków aktywności przemysłowej” [2]. Rozwój ma być realizowany tak, aby sprawiedliwie połączyć rozwojowe i środowiskowe potrzeby obecnych i przyszłych pokoleń. Ludzkość, zresztą nie bez oporów, właśnie wybiera ten wariant spośród różnych możliwych strategii dalszego rozwoju cywilizacji. W myśl tej nowej strategii, wymóg ochrony środowiska traktowany ma być jako nadrzędny priorytet, któremu podporządkowane zostaną inne przesłanki rozwoju. Ekologia, rozumiana jako troska o przyrodę w najszerszym znaczeniu, staje się więc głównym paradygmatem rozwoju nauki, a także polityki. A cywilizacja (uznawana przez Oscara Wilde'a, nieco złośliwie, jako okres przejściowy pomiędzy barbarzyństwem a dekadencją) musi rozwijać się nadal, w sposób rozumny, dla dobra obecnych i przyszłych pokoleń.

Konsekwencją przyjęcia modelu zrównoważonego (trwałego) rozwoju jest wprowadzanie nowych *zrównoważonych technologii*, podporządkowanych następującym wymogom, stanowiącym zarazem bariery rozwojowe:

- *bariery materiałowej*, wymuszającej oszczędność materiałów (surowców)
- *bariery energetycznej*, wymuszającej oszczędność energii
- *bariery ekologicznej (środowiskowej)*, wymuszającej wybór ekologicznie „przyjaznych” dróg postępowania, a więc małodopadowość, unieszkodliwianie i zagospodarowanie odpadów, bezpieczeństwo produktów, metod ich wytwarzania, użytkowania i użytkowego zagospodarowania.

Zrównoważone technologie cechować więc musi bezodpadowość lub przynajmniej małodopadowość, a ponadto materiałoszczędność i energooszczędność, powiązane ze sobą w sposób efektywny ekonomicznie. Cechy takie posiadać muszą, oczywiście, wszystkie szczegółowe kategorie zrównoważonych technologii, w tym również *zrównoważone technologie chemiczne*. Te ostatnie usiłują osiągnąć zamierzone cele poprzez wybór surowca, który może być przetworzony w produkt z największą możliwą selektywnością, wybór metody zapewniającej najmniejsze możliwe zużycie energii i materiałów oraz przyjaznej dla środowiska, wybór najbardziej aktywnego i selektywnego katalizatora, użycie najbardziej efektywnego typu reaktora, aparatury i urządzeń, zastosowanie zintegrowanego systemu powiązań reakcji chemicznych lub/i operacji fizycznych, zastosowanie zaawansowanych systemów kontroli i sterowania procesami i wreszcie udoskonalenie procesów utylizacji i zagospodarowania produktów ubocznych, odpadów i produktów użytkowych. Stosując tego rodzaju narzędzia, nauki chemiczne wnoszą swój wkład w kształtowanie nowego modelu cywilizacyjnego.

W szczególnym przypadku chemii i przemysłu chemicznego, oprócz wyżej wymienionych trzech barier rozwojowych, powszechnie występujących w całym przemyśle i decydujących o kierunkach i rozmiarach rozwoju, występuje dodatkowo, nieznaną w innych gałęziach przemysłu albo obecna tam jedynie w nieznacznym stopniu, *bariera psychologiczna*. Mowa tu o objawach niechęci społecznej i strachu przed chemią („chemofobia”), które powodują występowanie oporów, głównie lokalnych, przeciwko rozwojowi przemysłu chemicznego. Ująłem kiedyś ten problem w następujący sposób: „Chemia, odznaczająca się wszechobecnością, niezrozumiałym językiem i niepokojącą tajemniczością możliwych oddziaływań, długo jeszcze będzie traktowana, znacznie ponad racjonalnie usprawiedliwioną miarę, jako główny sprawca powstawania zanieczyszczeń i zagrożeń” [1]. Odzywa się tu zapewne także, jako echo odległych czasów,

pamięć o tajemniczej, magiczno-mistycznej alchemii. Być może, ma też racje noblista Richard R. Ernst, kiedy zauważa, iż „przemysł chemiczny jest kozłem ofiarnym egzystencjalnej potrzeby strachu” [6]. W każdym razie, w opinii wielu ludzi, chemia jest wciąż wiedzą tajemną, ezoteryczną, zrozumiałą tylko dla wtajemniczonych, a na zwykłego człowieka z każdego kąta czyha, ponoć, złowroźna „chemia”, obecna w żywności, w powietrzu, w wodzie i coraz bardziej zdomowiona w pejoratywnej warstwie potocznego języka polskiego. Bez względu na ocenę tego zjawiska, na jego oczywisty związek z ignorancją i na niesprawiedliwość większości oskarżeń, zwłaszcza tych przypisujących chemii główną odpowiedzialność za zanieczyszczanie środowiska, światowy przemysł chemiczny jest świadom swojego kiepskiego wizerunku w społeczeństwie. Stoi przed nim, zatem, dodatkowe wyzwanie, mianowicie konieczność intensywnego samodoskonalenia (wprowadzanie procesów bezodpadowych i małodpadowych, bezemisyjnych, racjonalnej gospodarki wodno-ściekowej, bezpiecznego transportu, eliminacja lub ograniczenie użycia i powstawania niebezpiecznych substancji, tzw. „Zielona chemia” lub „Zrównoważona chemia” i in.) i szerokiej informacji o sobie oraz o sposobach racjonalnego i bezpiecznego użytkowania produktów chemii. Temu, między innymi, zadaniu mają służyć ogólnosiwiatowe, europejskie i krajowe programy „Odpowiedzialność i Troska”, „od kolebki do grobu”, „zrównoważone technologie”, „REACH” i niektóre inne. **Przemysł chemiczny od lat przoduje wśród innych branż w inicjowaniu, organizowaniu i realizacji tego rodzaju programów, zmierzających do zapewnienia rozważnego i trwałego własnego rozwoju, przy równoczesnym przyjęciu przez siebie pełnej i kontrolowanej odpowiedzialności za ochronę środowiska, bezpieczeństwo metod wytwarzania, transportu i użytkowania produktów, wreszcie za pełną informację i współpracę ze społeczeństwem (zwłaszcza lokalnym).** Niektóre zobowiązania przyjmowane przez współczesny przemysł chemiczny wcale nie są łatwe do spełnienia. I tak, wymóg pełnej informacji o sobie zderza się z potrzebą zachowania poufności w czasach ostrej konkurencji, a wymóg odpowiedzialności za cały „cykl życia” produktu od jego wytworzenia, poprzez cały okres stosowania, aż do końcowego zagospodarowania po użyciu, stanowi obowiązek nieznanym wcześniej w przemyśle chemicznym. Jesteśmy więc świadkami gruntownej przebudowy strategii rozwoju i sposobu myślenia, świadkami narodzin nowego przemysłowego kodeksu etycznego i wynikającego zeń kodeksu praktycznych zachowań.

Wypełnianiu przez szeroko pojętą multidyscyplinarną chemię (nauki chemiczne) swych niezwykłych zadań i prawdziwie misyjnej roli sprzyjają silne naukowe

i techniczne, wewnętrzne i zewnętrzne, więzi interdyscyplinarne oraz powiązania aplikacyjne. **Szeroko pojmowana chemia jest bowiem nauką interdyscyplinarną w każdym znaczeniu tego słowa.** Jako zbiór chemicznych dyscyplin naukowych, chemia stwarza pogranicza między różnymi działami, na gruncie których powstały chemia supramolekularna, chemia metaloorganiczna i in. Znakomicie rozwijają się graniczne obszary chemii i technologii chemicznej (zwłaszcza w dziedzinie węglowodorów, polimerów, katalizy, nauki o powierzchni, kinetyki, termodynamiki, studiów nad mechanizmami przemian, małotonażowej syntezy wysoko uszlachetnionych chemikaliów i in.). Interdyscyplinarny charakter chemii sprawia, że granice oddzielające dawniej jeden obszar nauk chemicznych od drugiego stopniowo zacierają się i często są już trudne do zidentyfikowania. Jako nauka przyrodnicza, chemia stanowi (wraz z fizyką) podstawę różnorodnych innych nauk (nauki o materiałach, metalurgii, ceramiki itd.). Pogranicze chemii i biologii stanowi obszar studiów nad tajemnicami reakcji chemicznych procesów życiowych. Pogranicze fizyki, chemii i biologii jest źródłem wielu kierunków badań, np. dotyczących przetwarzania przez molekuly żywych organizmów informacji docierających od komórek, tkanek, narządów itd. Pogranicze chemii, genetyki i pokrewnych dyscyplin pozwala osiągnąć postęp w genetyce z perspektywy molekularnej. Na pograniczu nauk chemicznych i innych nauk powstały biochemia, geochemia, agrochemia, chemia farmaceutyczna, astrochemia, chemia środowiska, chemia w ochronie zabytków i dzieł sztuki i wiele innych. Do dyscyplin naukowych i dziedzin nauki w sposób szczególnie powiązanych z obszarem chemii i technologii chemicznej i odgrywających istotną rolę przy powstawaniu i rozwijaniu procesu technologicznego, a także doskonaleniu produktu, należą m. in. fizyka, matematyka, termodynamika, kinetyka chemiczna, kataliza, chemia i fizyka zjawisk międzyfazowych, elektronika, biotechnologia, inżynieria materiałowa, nanochemia i nanotechnologia oraz szereg innych, w tym również działy i obszary szczególnie znaczące dla rozwoju i powiększania skali procesu technologicznego, jego intensyfikacji, optymalizacji i integracji, takie jak wiedza o operacjach jednostkowych i projektowaniu procesowym, teoria i technologia reaktorów, nauka o zjawiskach transportu, fizyka ciała stałego, kontrola procesowa, ochrona środowiska, analiza ekonomiczna i niektóre inne. Poszerzają się wspólne obszary technologii chemicznej, chemii i nauk biologicznych (zwłaszcza w dziedzinie biotechnologii przemysłowej, surowców i produktów naturalnych łatwo ulegających biodegradacji i nie stanowiących zagrożenia mutagennością, przemysłowych enzymów i in.) oraz wspólne obszary chemii, technologii chemicznej i nauki o materiałach (w dzie-

dzinie badań i wytwarzania różnorodnych, nowoczesnych, często niezwykle i „inteligentnych” materiałów). Pojęcie „**interdyscyplinarna chemia**”, o różnej zresztą zawartości, jest już w użyciu w licznych tytułach rozdziałów książek i artykułów oraz w programach nauczania wyższych uczelni, także jako składowa interdyscyplinarnych studiów o szerokim zasięgu. Poprzez równoczesne sięganie do różnych nauk chemicznych, do wielu innych nauk przyrodniczych i technicznych oraz licznych nowopowstałych specjalności i obszarów granicznych, interdyscyplinarna chemia staje się źródłem coraz bardziej fascynującej przygody w poznaniu i zmienianiu świata.

Jak wspomniano wcześniej, większość produktów wytwarzanych przez chemię stanowią półprodukty lub materiały przeznaczone dla innych gałęzi gospodarki, będące częściami składowymi rynkowych wyrobów końcowych wytwarzanych przez innych producentów (samochodów, samolotów, domów, dróg, komputerów i wszystkich innych). To właśnie te **coraz bardziej wyrafinowane półprodukty i materiały wytworzone przez „naukochłonną” chemię przenoszą naukowy i techniczny postęp i innowacje do branż wytwarzających finalny produkt, a więc praktycznie do wszystkich obszarów działalności i życia człowieka.** Pozostałe produkcje chemiczne stanowią coraz bardziej nowoczesne produkty rynkowe wszelkich możliwych kategorii (leki, nawozy sztuczne, środki ochrony roślin, paliwa, kosmetyki, środki czystości, barwniki, farby, lakiery i inne). Ta wszechstronność produktów chemicznych obydwu rodzajów, ich absolutna niezbędność oraz ogromny proinnowacyjny wpływ wywierany na rozwój innych obszarów gospodarki powodują, iż w czołowych krajach uprzemysłowionych świata udział produkcji chemicznej w łącznej produkcji przemysłowej znacznie przewyższa udziały innych dziedzin gospodarki i przeważnie wynosi 20-25% (wartościowo). Z ubolewaniem trzeba stwierdzić, że analogiczny wskaźnik dla Polski wynosi od lat jedynie około 10%.

Swoją uniwersalność i wszechobecność nauki chemiczne będą musiały w przyszłości wykorzystać, aby wraz z innymi dziedzinami sprostać licznym wyzwaniom wynikającym z poważnych zagrożeń cywilizacyjnych świata w XXI wieku, takim jak przeludnienie, głód i choroby, wyczerpywanie konwencjonalnych zasobów surowcowych i energetycznych, dysproporcje ekonomiczne i nierówności społeczne, zanieczyszczenie środowiska.

W zakresie zapewnienia wyżywienia i zdrowia ludzkości, w warunkach przewidywanego znacznego przyrostu ludności świata – chemia będzie współdziałać w wysiłkach zmierzających do koniecznego zwiększenia wydajności i poprawy jakości plonów i hodowli, gwarancji czystej wody i zdrowej

żywności oraz opanowania głównych współczesnych chorób i plag (w tym chorób nowotworowych, neurodegeneracyjnych i in.), poprzez postęp w produkcji agrochemikaliów, chemikaliów paszowych i żywnościowych, półproduktów farmaceutycznych i leków, środków higieny itd. W tym zakresie nauki chemiczne będą nadal współdziałać z naukami rolniczymi, medycyną, farmacją, chemią fizjologiczną, biochemią, biologią molekularną i biotechnologią, molekularnym modelowaniem i innymi.

W zakresie zaspokajania energetycznych potrzeb ludzkości i racjonalnego gospodarowania światowymi zasobami surowców, zwłaszcza tych, które ulegają szybkiemu wyczerpaniu – chemia będzie współdziałać w doskonaleniu metod pozyskiwania, przerobu i oszczędnego gospodarowania zasobami kopalnych nośników energii i surowców chemicznych (m.in. konwencjonalnych rop naftowych, gazu ziemnego i węgla, a także dotąd nieprzetwarzanych lub przetwarzanych jedynie w niewielkim stopniu ciężkich rop, łupków bitumicznych, piasków roponośnych, hydratów metanu, metanu kopalnianego, gazu zawartego w łupkach i w izolowanych porach skalnych), wprowadzaniu do użytku coraz bardziej przyjaznych środowisku „czystych” i „ultraczystych” paliw ciekłych i gazowych otrzymywanych z gazu ziemnego, ropy naftowej, węgla, biomasy i odpadów, efektywnym wykorzystywaniu alternatywnych surowców i nośników energii (w tym surowców odnawialnych, energii słonecznej, geotermicznej, wiatru i wody, wodoru, metanolu, ogniw paliwowych i in.), rozwijaniu metod energochemicznej przeróbki węgla w energię elektryczną, paliwa ciekłe i gazowe oraz chemikalia, chemicznego przerobu metanu do ciekłych paliw i chemikaliów, przerobu dwutlenku węgla z atmosfery i z kopalnych węglanów, przemian pozostałych członów chemii C_1 , wzbogacania i utylizacji ubogich rud metali i szeregu innych. W tym obszernym zakresie nauki chemiczne będą nadal współdziałać z energetyką, górnictwem węgla, ropy i gazu, geologią i geochemią, mineralogią, metalurgią i hydrometalurgią i innymi. Oczywiście, odrębną koniecznością będzie wprowadzanie coraz bardziej energooszczędnych metod samej produkcji chemicznej, co jest szczególnie istotne wobec dość wysokiej dotychczasowej energochłonności tej produkcji.

W zakresie dostarczania coraz doskonalszych materiałów i półfabrykatów umożliwiających niezbędny rozwój innych obszarów techniki i codziennego życia (budownictwa, transportu, gospodarstwa domowego, produkcji odzieży, elektroniki, medycyny i wszystkich innych obszarów bez wyjątku) – chemia będzie odgrywać decydującą rolę w produkcji udoskonalonych i nowych polimerów masowych i wyspecjalizowanych o pożądanych strukturach

i właściwościach, tworzyw konstrukcyjnych, nanomateriałów nieorganicznych, polimerowych i nanokompozytów, elastomerów, włókien syntetycznych, metali i ich związków, komponentów i środków pomocniczych, chemii gospodarczej oraz wielu innych materiałów, często o szczególnej czystości, wyrafinowanych właściwościach lub specjalnym przeznaczeniu. Podstawę dla nowej produkcji stanowić będzie rozwój chemii i technologii polimerów, chemii supramolekularnej, katalizy i nauki o powierzchni, koloidów, ceramiki, a także znakomity rozwój syntezy organicznej i opartej na niej produkcji mało- i średniotonażowej i in. Niezbędne będzie dalsze współdziałanie z inżynierią materiałową, nanotechnologią, biomimetyką, biotechnologią i innymi.

W zakresie zapobiegania i eliminacji zanieczyszczeń środowiska – chemia odgrywa i będzie nadal odgrywać zasadniczą rolę w kompleksowej ochronie środowiska naturalnego, zarówno poprzez wprowadzanie u siebie małoodpadowych i bezodpadowych, bezemisyjnych technologii, nowoczesnej gospodarki wodno-ściekowej, produkcji biodegradowalnych materiałów itp., jak i przede wszystkim przez podjęcie się pełnienia centralnej roli w walce z zanieczyszczeniami środowiska powodowanymi przez inne obszary działalności człowieka, na drodze chemicznych i fizykochemicznych metod i środków ochrony i profilaktyki, unieszkodliwiania i utylizacji szkodliwych emisji (w tym gazów cieplarnianych), ścieków, odpadów oraz zużytych („poużytkowych”) wyrobów i wreszcie szerzej, poprzez rozwój chemii środowiska, obejmującej atmosferę, środowisko ziemskie, oceany i studia nad zachodzącymi i nadchodzącymi zmianami globalnymi. W tym zakresie niezbędne będzie dalsze współdziałanie z inżynierią środowiska, geografiami fizycznymi (w tym hydrologią, klimatologią i in.), energetyką, biologią, medycyną, rolnictwem, leśnictwem i innymi.

Pokonanie tych i innych cywilizacyjnych zagrożeń powinno uczynić świat znośnym dla zdrowego i godnego życia przyszłych pokoleń. **Udziału chemii w rozwiązywaniu globalnych problemów świata nie da się niczym zastąpić.** Globalnym wyzwaniom XXI wieku, ale także wielu zadaniom o charakterze lokalnym i szczegółowym, będą musiały sprostać nauki chemiczne przyjmując proekologiczną strategię własnego rozwoju oraz rozwoju przemysłu chemicznego i wprowadzając nowe zaawansowane technologie i nowe materiały wywierające korzystny wpływ na jakość życia.

Chemia jest nauką dojrzałą, ale wciąż jeszcze piętrzy się przed nią wiele nierozwiązanych problemów. Zresztą, jak mawiał George Bernard Shaw: „Nauka nigdy nie rozwiązuje problemu bez stworzenia dziesięciu nowych”. Chemia, jak każda nauka, podlega procesom nieustannego własnego rozwoju, przy

czym, jak się wydaje, postępy chemii odznaczają się szczególną intensywnością. Znana chemikom fascynacja uprawianiem i rozwijaniem chemii jest wynikiem zarówno intelektualnej satysfakcji z odkrywania nieznanego, jak i z faktu uczestniczenia w życiu i rozwoju nauki odznaczającej się szczególnym udziałem w kształtowaniu przeszłości. **Bowiem chemia w istocie współkształtuje przyszłość.**

W Polsce chemia i organizowany od początku XIX wieku krajowy przemysł chemiczny mają długie tradycje, a chemicy wnieśli znaczny wkład do nauki i praktyki, zarówno w skali lokalnej jak i światowej. Wystarczy wspomnieć takie postaci jak M. Skłodowska-Curie, K. Fajans, I. Łukasiewicz, S. Pilat, W. Szukiewicz, I. Mościcki, E. Kwiatkowski, J. Zawadzki, W. Świątosławski, T. Hobler, J. Ciborowski, S. Bretsznajder i wielu innych.

W 2011 r. światowa społeczność chemiczna obchodzić będzie 100-lecie uzyskania Nagrody Nobla z chemii przez Marię Skłodowską-Curie (drugą Nagrodę Nobla po zbiorowej nagrodzie z fizyki uzyskanej w 1903 r.). Rok 2011 będzie zresztą szczególnie ważny w historii światowej chemii. Zgromadzenie Ogólne ONZ na wniosek IUPAC i UNESCO ogłosiło bowiem rok 2011 Międzynarodowym Rokiem Chemii (ang. *International Year of Chemistry 2011*) [9], a jego hasłem nadanym przez wnioskodawców będzie „Chemia – nasze życie, nasza przyszłość” (ang. „*Chemistry – our life, our future*”). W myśl założeń, w tym uroczystym roku 2011 ludzkość powinna lepiej pojąć i docenić rolę i cele misji chemii jako Centralnej Nauki posiadającej fundamentalne znaczenie dla zrozumienia świata i kosmosu oraz stanowiącej podstawę molekularnych przemian prowadzących do praktycznie wszystkich rodzajów produktów. Ten rok ma ukazać osiągnięcia chemii i jej wkład w zapewnienie pomyślności ludzkości. Podejmując swoją uchwałę o proklamowaniu roku 2011 Międzynarodowym Rokiem Chemii, Zgromadzenie Ogólne ONZ podkreśliło decydującą rolę edukacji chemicznej ukierunkowanej na takie zagrożenia jak globalne zmiany klimatu, dostarczenie zrównoważonych źródeł czystej wody, żywności i energii oraz utrzymanie zdrowego środowiska dla dobra wszystkich ludzi [9].

Społeczność obecnie żyjących chemików niewątpliwie pragnie, aby w interesie ludzkości nastąpił dalszy rozkwit chemii i aby zapewniona jej została „słoneczna” przyszłość w świecie, w tym również w naszym kraju.

Literatura

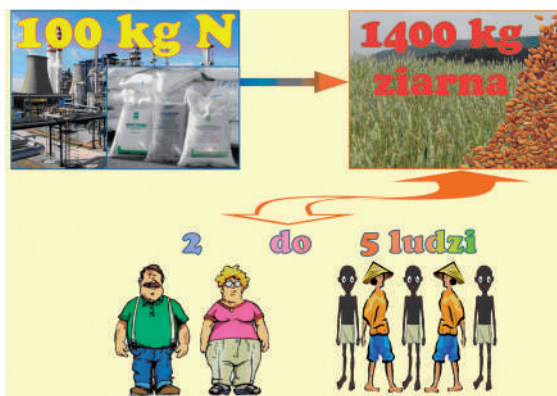
1. Taniewski M.: *Rola chemii i przemysłu chemicznego w rozwoju technicznym i gospodarczym świata na przełomie XX i XXI wieku*. Przem. Chem. 1993, 72/7, 263-266.
2. Taniewski M.: *Chemia wobec cywilizacyjnych wyzwań XXI wieku*. Wykład Inauguracyjny w Politechnice Śląskiej 1996/1997. Wyd. Pol. Śl. 1996.
3. Taniewski M.: *Współczesna rola technologii chemicznej*. Rozdział w książce „Misja chemii”; praca zbiorowa pod red. B. Marcińca. Wyd. Poznańskie, Poznań 2004, str. 329-363.
4. Brown T.L., LeMay H.E. Jr.: *Chemistry – The Central Science*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey 1977.
5. Balaban A.T., Klein A.J.: *Is chemistry The Central Science?* Scientometrics 2006, 69/3, 615-637.
6. Ernst R.R.: Proceedings of the Forum Engelberg Chemistry and Quality of Life 1994, 12-15 April, Engelberg, Switzerland.
7. Agazzi E.: Proceedings of the Forum Engelberg Chemistry and Quality of Life 1994, 12-15 April, Engelberg, Switzerland.
8. Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline. Ed. D. Baird, E. Scerri, L. McIntyre, Springer, The Netherlands 2006.
9. UN Resolution 63/209, General Assembly GA/EF/3232, Nov. 2008.

CHEMIA ZAŻEGNAŁA WIDMO GŁODU NA ŚWIECIE. ŻYWNOSĆ – NAWOZY

FOTYMA Mariusz

W referacie przypomniano historie chemii rolniczej jako działu chemii zajmującego się żywieniem roślin i żyznością gleby wraz z jej regulacją poprzez stosowanie nawozów. Omówiono związek pomiędzy ilością stosowanych nawozów i wielkością produkcji rolniczej służącej wyżywieniu człowieka. Z siły tego związku wynika, że nawożenie wraz z postępem biologicznym i ograniczaniem strat i ubytków plonów umożliwia przyrost produkcji żywności w tempie wyprzedzającym dynamiczny wzrost populacji ludzkiej. Tym samym czynnik ten może wyeliminować widmo głodu na ziemi. Dopływ składników mineralnych w formie nawozów powoduje jednak zaburzenia w cyklu obiegu tych składników z ujemnymi konsekwencjami dla wód podziemnych i nadziemnych oraz dla atmosfery.

Słowa kluczowe: historia chemii rolniczej, nawozy mineralne, populacja ludzka, produkcja żywności, cykl azotowy



MINERAL FERTILIZERS PREVENTED THE HUNGER IN THE WORLD

FOTYMA Mariusz

In this paper the history of agricultural chemistry, as a branch of chemistry dealing with plant nutrition and control of soil fertility by fertilizer application, has been briefly reminded. The relation between the amount of fertilizers and agricultural production, focused on human nutrition was discussed. This relation is very close and therefore fertilization along with plant breeding and plant protection makes possible increasing food production at a faster rate than the population growth and hence eliminates the spectre of hunger on the earth. However the huge input of nutrients upsets their natural cycles and poses the potential threats for waters and the atmosphere.

Keywords: history of agricultural chemistry, mineral fertilizers, human population, food production, nitrogen cycle

CHEMIA ZAŻEGNAŁA WIDMO GŁODU NA ŚWIECIE.

ŻYWNOSĆ – NAWOZY

Mariusz FOTYMA – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa,
Państwowy Instytut Badawczy, Puławy

Historia chemii rolniczej

Chemia jest to nauka o pierwiastkach i związkach chemicznych oraz zachodzących pomiędzy nimi reakcjach. Z uwagi na interdyscyplinarny charakter chemii i jej ogromne znaczenie we wszystkich dziedzinach materialnej działalności człowieka, termin ten jest uściślany zależnie od określonej dziedziny. Stąd pojęcie chemii rolniczej – jako zastosowań chemii w badaniach i rozwoju szeroko rozumianego rolnictwa. Chemia rolnicza dzieli się na przynajmniej trzy działy: chemiczne podstawy żywienia roślin, chemiczne podstawy żyzności gleby i chemię nawozów mineralnych i organicznych.

Pierwsze ilościowe badania nad żywieniem roślin przeprowadził lekarz belgijski J.B. van Helmont (1580-1644). W słynnym doświadczeniu z wierzbą, uprawianą w uprzednio „wysuszonej w piecu” ziemi, posadził sadzonkę wierzby i przez 5-letni okres wzrostu podlewał ją wodą deszczową lub wodą destylowaną. O staranności tych badań świadczy fakt, że wierzba rosła w ceramicznym wazonie, a dla uniknięcia dostępu „kurzu” z powietrza wazon był zabezpieczony od góry perforowaną pokrywą. Po upływie 5 lat badacz zważył wierzbę oraz glebę w wazonie i stwierdził, że masa wierzby wynosiła 164 funtów, a gleby ubyło zaledwie 2 uncje. Van Helmont wyciągnął z tego wniosek że „cała masa wierzby wytworzona została wyłącznie z wody”, nie komentując owych 2 uncji, które zresztą bywały z reguły zapomniane przez licznych cytujących go następców. Pionierski rozwój chemii rolniczej przypada jednak dopiero na drugą połowę XVIII i pierwszą połowę XIX w. W okresie tym rozpoczęto badania nad fotosyntezą roślin, dzięki odkryciu przez K.W. Schellego (1743-1794) tlenu w 1773 r. i ostatecznym obaleniu przez A.L. Lavoisiera (1743-1794) tzw. teorii flogistycznej. Piękne, nadal cytowane badania nad asymilacją i oddychaniem roślin przeprowadził T. de Saussure (1767-1845) i opublikował ich wyniki w książce *Recherches chimiques sur la végétation* wydanej w 1804 r. w Paryżu. Obok wyjaśnienia roli tlenu i dwutlenku węgla w tych procesach, autor zwraca uwagę na rolę składników pobieranych z gleby, z której pochodzi zarówno azot jak

i składniki popielne. Wyniki jego badań nie były w pełni docenione przez dwóch chemików, których prace kończą pionierski okres chemii rolniczej. Chemikami tymi byli H. Davy (1778-1829), autor wydanej w 1813 r. książki *Elements of Agricultural Chemistry*, od którego wywodzi się pojęcie chemii rolniczej, oraz A. van Thaer (1752-1828), który w cyklu prac pt. *Grundsätze der rationellen Landwirtschaft* (1809-1812) ugruntował wcześniejsze poglądy J.G. Walleriusa (1761) o „próchnicowym odżywianiu roślin”. Zgodnie z tą teorią, podstawowym źródłem składników pokarmowych roślin jest próchnica, obok oczywiście uznanej wcześniej roli wody. Składniki mineralne odgrywały według Thaera wyłącznie rolę pomocniczą w udostępnianiu roślinom związków próchnicowych. Zwolennikami teorii próchnicowego odżywiania roślin byli zarówno wspomniany już H. Davy jak i w Polsce M. Oczapowski (1788-1845), autor wydanej w 1819 r. książki pt. *Zasady chemii rolnej*.

Za okres narodzin nowoczesnej chemii rolniczej można uznać lata 1825-1840, kiedy badania doświadczalne i laboratoryjne prowadzili m.in. N.T. de Saussure (1767-1845), C.S. Sprengel (1787-1859) i J.B. Boussingault (1802-1887). Na szczególne podkreślenie zasługuje rola ostatniego z wymienionych badaczy, który uważany jest za nieco zapomnianego twórcę nowoczesnych badań doświadczalnych; w 1834 r. założył pierwszą Rolniczą Stację Doświadczalną we Francji. Boussingault, jako pierwszy dostarczył też dowodów na możliwość korzystania z azotu atmosferycznego przez rośliny motylkowe. Dopiero jednak w końcu XIX w. H. Hellriegel i H. Wilfahrt (1888) wyjaśnili rolę bakterii w brodawkach korzeniowych roślin motylkowych w wiązaniu azotu atmosferycznego. Bakterie te zostały następnie wyizolowane przez M.W. Beijerincka (1888, 1890). Datą przełomową w historii nowoczesnej chemii rolniczej jest rok 1840, kiedy Justus van Liebig wygłosił słynny odczyt na posiedzeniu British Association, opublikowany następnie w książce pt. *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*. W książce tej, pt. *Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology* (1840), która została udostępniona również w języku angielskim i wzbudziła ogromne zainteresowanie zarówno w świecie naukowym jak i wśród praktyków rolnictwa, autor precyzuje zasady mineralnej teorii żywienia roślin. Zgodnie z tą teorią, roślina pobiera składniki mineralne i wodę z gleby oraz dwutlenek węgla z powietrza. Liebig był chemikiem analitykiem i nie prowadził sam doświadczeń z roślinami, co zresztą przyczyniło się do jego mylnego i narastającego z wiekiem przekonania, że źródłem azotu dla roślin jest amoniak z powietrza, a także do niepowodzenia opatentowanego przez autora nawozu, otrzymanego przez termiczne łączenie (spiekanie) obornika z wap-

nem i fosforanem wapnia. Zasługi Liebiga jako twórcy teorii mineralnego żywienia roślin są jednak niepodważalne i jego teoria zainspirowała m.in. J.B. Lawesa i J.H. Gilberta, skądinąd krytyków Liebiga, do założenia w 1843 r., prowadzonych do dzisiaj doświadczeń nawozowych w Stacji Badawczej Rothamsted w Anglii. Wkrótce potem podobne doświadczenia zostały założone w Halle, Niemcy (1872), w Askov, Dania (1894) i w Skierniewicach, Polska (1923). Zaśługą Liebiga jest również sformułowanie tzw. prawa minimum, stanowiącego ilościowy wyraz jego teorii. Zgodnie z oryginalną wersją tego prawa „w wyniku niedoboru lub braku jednego koniecznego składnika mineralnego, nawet przy obecności wszystkich pozostałych, gleba staje się jałowa dla wszystkich roślin, dla których ten jeden składnik jest niezbędny”.

Teoria mineralnego żywienia roślin przyczyniła się w decydującym stopniu zarówno do rozwoju badań w zakresie chemicznych podstaw żyzności gleb jak i do postępu w chemii nawozów. Nawóz azotowy w formie mineralnej, jakkolwiek pochodzenia organicznego, dostępny był od 1850 r. jako saletra chilijska (NaNO_3) pochodząca z nagromadzonych odchodów ptasich (guana). Pokłady guana zostały wyczerpane ok. 1875 r. i od tej pory rozpoczęła się przemysłowa produkcja nawozów azotowych. Już wcześniej, w 1843 r. w Stacji Rothamsted, uruchomiono produkcję pierwszego nawozu fosforowego, początkowo z kości, a następnie z fosforytów o charakterze superfosfatu. Nawóz ten od 1855 r. wytwarzany był również w Niemczech. Kolejnym nawozem fosforowym była tomasyna, wytwarzana tzw. metodą Thomasa już od 1879 r. w Anglii, jako produkt uboczny przy wytopie stali. W 1861 r. rozpoczęto w Niemczech wydobywanie surowców do produkcji nawozów potasowych. Pierwszym syntetycznym nawozem azotowym był siarczan amonowy, otrzymywany od 1890 r. w Niemczech, jako produkt uboczny w koksowniach. Również w Niemczech w 1905 r. rozpoczęto produkcję cyjanamidu wapnia (CaCN_2) znanego jako azotniak. W 1902 r. w Norwegii, Birkeland i Eyde i w 1903 r. w Polsce, Mościcki, opracowali metodę syntezy tlenu azotu i kwasu azotowego na drodze utleniania azotu z powietrza w łuku elektrycznym. Metoda ta, wymagająca bardzo dużych nakładów energii, została całkowicie zarzucona. Podstawą obecnej produkcji nawozów azotowych jest synteza amoniaku opracowana w Niemczech w 1913 r. przez Habera i Boscha. Autorzy tego osiągnięcia zostali uhonorowani nagrodami Nobla, Haber w 1918 r., a Bosch w 1935 r. W 1921 r. opracowano również w Niemczech metodę syntezy mocznika z amoniaku, jednego z bardziej popularnych obecnie nawozów azotowych. Również tlenek azotu i kwas azotowy uzyskuje się obecnie metodą Ostwalda, polegającą na utlenianiu amoniaku, a nie me-

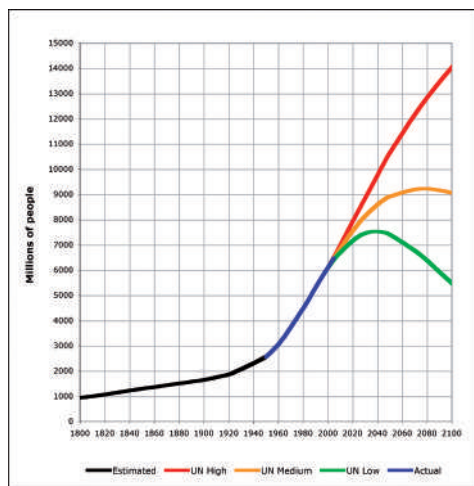
tołą bezpośredniej syntezy z tlenu i azotu. W historii rozwoju chemii nawozów znaczący jest również rok 1927, kiedy opracowano metodę produkcji nitrofoski – jako pierwszego nawozu kompleksowego zawierającego azot, fosfor i potas. W praktyce jednak dopiero XX wiek otwiera erę przemysłowej produkcji nawozów mineralnych.

Jak wynika z tego krótkiego przeglądu, historia nowoczesnej chemii rolniczej liczy blisko 170 lat, a największe jej osiągnięcia przypadają na przełom XIX i XX w.

Ludność świata i jej zapotrzebowanie na żywność

Począwszy od światowej epidemii dżumy, która miała miejsce ok. 1400 r. aż do czasów współczesnych populacja ludności na kuli ziemskiej systematycznie wzrasta i na początku 2010 r. przekroczyła 6,8 mld osób (rys. 1).

Największy, niemal wykładniczy, wzrost populacji ludzkiej notowano pomiędzy latami 40. i 80. ubiegłego wieku; ostatnio roczne tempo przyrostu uległo obniżeniu z ok. 2,2% rocznie do ok. 1,1% rocznie. Tym niemniej, nawet z optymistycznej „średniej” prognozy UN wynika, że w latach 50. obecnego stulecia liczba ludności na kuli ziemskiej osiągnie 9 mld (rys. 1). W stosunku do 1800 r. oznacza to przyrost niemal 9-krotny. Z modeli wynika, że „dzień 7 miliardów ludzi” przypadnie na lipiec 2012 r., a więc za prawie 2 lata. W 1800 r. ludność



Rys. 1. Ludność świata w latach 1800–2100. (Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat (2007). World Population Prospects. The 2006 Revision. Highlights. New York: United Nations)

świata liczyła ok. 1 mld, a Europę zamieszkiwało ok. 200 mln osób, z czego ok. 9 mln żyło na obszarze rdzennej Polski. Obecnie Europę zamieszkuje 730 mln osób i liczba ta od trzech dziesięcioleci pozostaje na prawie stałym poziomie; Polska z ok. 38 mln mieszkańców notuje ostatnio powolny spadek zaludnienia (tab. 1). Należy podkreślić, że okres sprzed 1850 r., a w wielu krajach europejskich również sprzed 1900 r. uważany jest za okres niestatystyczny, gdyż brakuje jednoznacznych i jednolitych danych statystyki masowej. W Polsce dane statystyczne dostępne są dopiero od 1920 r., tj. po odzyskaniu przez nasz kraj niepodległości. W dalszym ciągu niniejszej publikacji ograniczono się zatem do okresu po 1900 r., a dla Polski – po 1920 r.

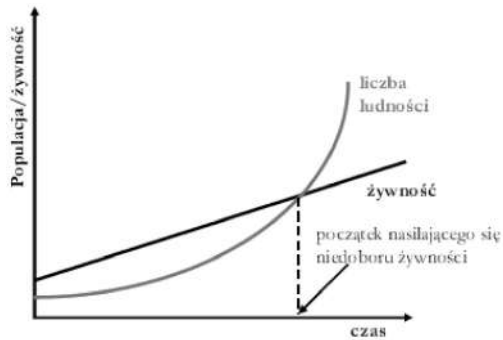
Tablica 1

Liczba ludności w ostatnim stuleciu, mln osób (FAOSTAT)

Obszar	1900 r.	1950 r.	2000 r.	2010 r.
Świat	1650	2521	5978	6707
Europa	408	547	729	732
Polska*	22,1	25,0	38,5	38,1

* W okresie 1900-1950, w związku z dwoma wojnami światowymi i zmianami terytorium oraz ruchami ludności, danych tych nie można interpretować po linii trendu. Wg spisów powszechnych, ludność Polski w 1931 r. liczyła 31,9 mln, a wg spisu z 1939 r. 35,1 mln osób. W latach 1950-2000 występuje natomiast regularny trend wzrostu liczby ludności naszego kraju.

W dziennej diecie mieszkańca kuli ziemskiej, zależnie od jego wieku, płci, aktywności fizycznej itp. powinno się znaleźć 8-18 MJ (1900-3800 kcal) energii i 30-90 g białka. Nie wdając się w szczegóły można przyjąć, że na statystycznego człowieka powinno przypadać dziennie ok. 12,5 MJ (3000 kcal) i 45 g białka. W skali globalnej oznacza to, że ok. 1800 r. ówczesna ludność kuli ziemskiej powinna konsumować dziennie ok. 12.500.000 GJ energii i 45 Gg białka, a rocznie ok. 4.562.500.000 GJ energii pierwotnej i odpowiednio 16.425 Gg białka. Tak liczone zapotrzebowanie do 2010 r. wzrosło niemal 7-krotnie i to bez uwzględniania postępu w składzie diety człowieka. Zapotrzebowanie na energię, i w nieco mniejszym stopniu na białko, pokrywane jest głównie ziarnem zbóż spożywanym bezpośrednio w formie przetworów zbożowych i pośrednio w formie produktów zwierzęcych. Z bardzo dużym uogólnieniem (gdyż występują tutaj duże różnice gatunkowe) można przyjąć, że w 1 Mg (1 t) ziarna zbóż znajduje się 16 GJ energii i 0,12 Mg (120 kg) białka. Dla pokrycia zapotrzebowania na energię ludności kuli ziemskiej w 1800 r., produkcja ziarna zbóż na świecie powinna więc wynosić rocznie ok. 285 Tg (mln t) ziarna zbóż, w Europie ok. 57 Tg ziarna



Rys. 2. Tempo wzrostu liczby ludności a tempo wzrostu produkcji żywności wg koncepcji T.R. Malthusa. (Okólski Marek, Demografia: podstawowe pojęcia, procesy i teorie w encyklopedycznym zarysie, SCHOLAR, Warszawa 2005, s. 205)

zbóż, a w etnicznej Polsce ok. 2,6 Tg ziarna zbóż. Taka ilość ziarna zbóż może również pokryć z nadmiarem zapotrzebowanie ludzi na białko, gdyż w diecie człowieka powinno przypadać ok. 2,6 kg białka na 1 GJ energii, a w ziarnie zboża proporcja ta wynosi 7,5 kg białka na 1 GJ energii ziarna. Oczywiście znaczna część energii i białka w diecie człowieka pochodzi z uprawy innych niż zboża roślin. Wiarygodne i porównywalne dane statystyczne obejmują jednak w praktyce wyłącznie rośliny zbożowe. Z drugiej jednak strony, przedstawione zapotrzebowanie na ziarno zbóż nie uwzględnia faktu, że w diecie człowieka coraz większy udział mają mięso i produkty zwierzęce. W rzeczywistości przyrost konsumpcji mięsa na osobę jest jednym ze wskaźników postępu cywilizacyjnego ludności kuli ziemskiej. Produkcja mięsa (i innych produktów zwierzęcych) jest jednak energetycznie, a także pod względem zapotrzebowania na białko, bardzo kosztowna. Na uzyskanie 1 GJ w produktach zwierzęcych trzeba zużyć 2,5-6 GJ w produktach roślinnych, w tym w ziarnie zbóż.

Do początku XIX w. populacja ludzka zwiększała się stosunkowo powoli; dla zwiększenia produkcji żywności, na bardzo zresztą skromnym poziomie, wystarczało powiększanie areалу ziemi uprawnej. W XX w. następuje bardzo szybki wzrost zaludnienia kuli ziemskiej i w latach 1900-1980 liczba ludności uległa prawie potrojeniu. Wyczerpywały się również rezerwy ziemi, którą można wziąć pod uprawę. Szacuje się, że z całej powierzchni łądów tylko ok. 25% nadaje się do zagospodarowania rolniczego. Z tej potencjalnej powierzchni niemal 50% już jest pod uprawą. Od początku XIX w. zagadnienie możliwości wyżywienia rosnącej liczby ludzi zamieszkujących kulę ziemską budziło żywe zainteresowanie – intelektualne i polityczne. Szczególnie sławny stał się Thomas Malthus (1766-1834), pierwszy angielski profesor ekonomii politycznej, który

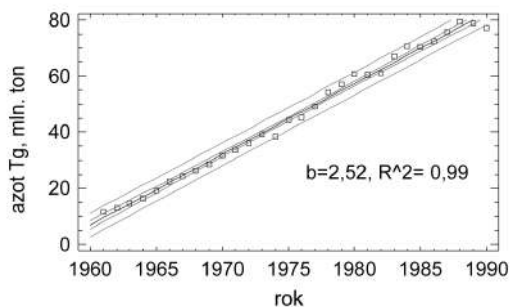
w 1798 r. sformułował swoją teorię przeludnienia. Malthus twierdził, że ludność kuli ziemskiej przyrasta w postępie geometrycznym (rys. 2), a produkcja żywności w postępie arytmetycznym, co musi prowadzić do nędzy i głodu już w połowie XIX w. Należy przypomnieć, że w czasie, gdy Malthus opublikował swoją teorię, ludność kuli ziemskiej liczyła „zaledwie” 1 mld osób.

Przez cały XIX w. i co najmniej połowę XX w. teoria Malthusa znajdowała wielu zwolenników (maltuzjanisci i neomaltuzjanisci). Uaktywnili się oni w okresie po II wojnie światowej wobec eksplozji demograficznej w krajach tzw. trzeciego świata. P.R. Ehrlich (1932), amerykański biolog i nauczyciel akademicki, opublikował w 1968 r. głośną książkę *Bomba Demograficzna*, w której przewidywał wybuch głodu w latach 1970-1985 na skutek nienadążania produkcji żywności za dynamicznym przyrostem populacji ludzkiej. W 1972 r. ukazał się tzw. Raport Rzymski (w formie publikacji *Granice Wzrostu*), przedstawiający katastroficzną wizję zagłady cywilizacji ludzkiej.

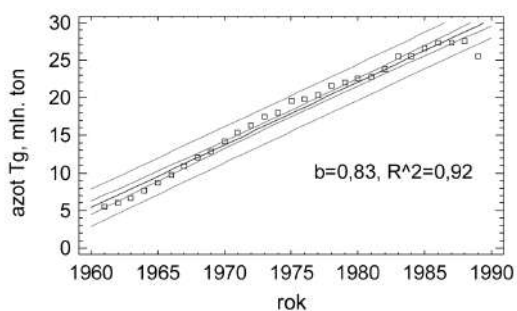
Poglądy maltuzjanistów i neomaltuzjanistów spotykały się jednocześnie z narastającą krytyką. Ich przeciwnicy podkreślali, że przyczyną głodu w niektórych rejonach świata jest nie nadmierna liczba ludności, ale zaburzenia w stosunkach społecznych, wojny, walki polityczne, słabe państwa itp. Dokładnie w 200 lat od opublikowania teorii Malthusa, Amartya Kumar Sen dostał nagrodę Nobla m.in. za udowodnienie fałszywości tej teorii; wykazał on, że ubóstwo i głód są konsekwencjami złego zarządzania gospodarką. Teoria Malthusa okazała się fałszywa również w świetle osiągnięć tzw. zielonej rewolucji (lata 1970-1985), kiedy produkcja żywności zaczęła wyraźnie wyprzedzać przyrost ludności na kuli ziemskiej. W latach 1950-2006 światowa produkcja zbóż wzrosła ponad 3-krotnie, a liczba ludności świata zwiększyła się tylko ok. 2,5-krotnie. Niekwestionowany jest jednak fakt występowania obszarów głodu i niedożywienia ludzi, zwłaszcza w krajach afrykańskich i azjatyckich. Liczba niedożywionych mieszkańców kuli ziemskiej w 1995 r. była szacowana na ok. 830 mln i wzrosła do ponad 920 mln w 2007 r.

Wpływ nawozów mineralnych na wielkość plonów roślin zbożowych

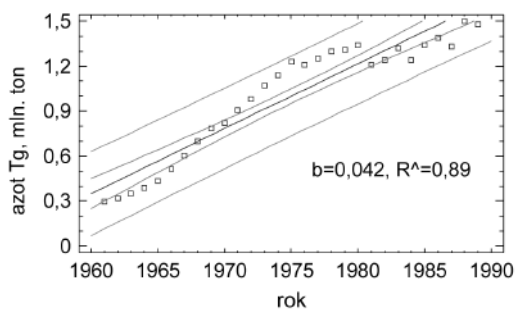
Produkcja i stosowanie nawozów mineralnych rozpoczęło się na znaczącą skalę w początkach XX w. Analizę przyrostu zużycia nawozów i związku pomiędzy nawożeniem a wielkością plonu zbóż ograniczono do azotu, gdyż jest to główny składnik plonotwórczy. W latach 1960-1990 zużycie nawozów wykazywało liniowy trend przyrostu. Był to jednocześnie okres liniowego zwiększania po-



Rys. 3. Trend zużycia nawozów azotowych na świecie w latach 1960-1990 (FAOSTAT, obliczenia własne)

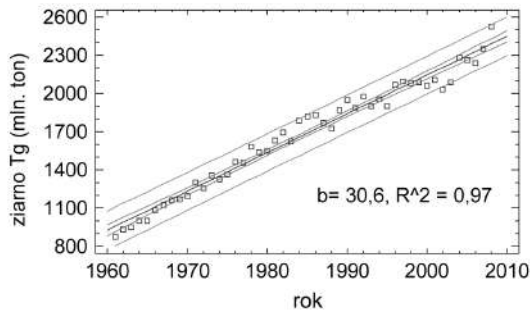


Rys. 4. Trend zużycia nawozów azotowych w Europie w latach 1960-1990 (FAOSTAT, obliczenia własne)



Rys. 5. Trend zużycia nawozów azotowych w Polsce w latach 1960-1990 (FAOSTAT, obliczenia własne)

pulacji ludzkiej (por. rys 1). W skali świata zużycie nawozów azotowych w tym okresie wzrosło z 11,6 do 77,1 Tg (mln t), tzn. niemal 7-krotnie (rys. 3). Jedno-roczny trend przyrostu zużycia nawozów osiągał ponad 2,5 Tg na rok. Zużycie nawozów na statystycznego mieszkańca kuli ziemskiej wynosiło ok. 4,54 kg N,

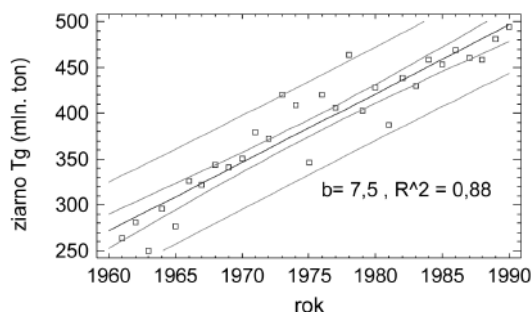


Rys. 6. Trend przyrostu zbiorów ziarna zbóż w świecie w latach 1960-1990 (FAOSTAT, obliczenia własne)

a w 1990 r. wzrosło do ok. 14,6 kg N, mimo że liczba ludności w tym okresie uległa podwojeniu. W Europie, w okresie analizowanych 30. lat, zużycie nawozów azotowych zwiększyło się z ok. 5,5 Tg do ok. 26,0 TG, a więc niemal 5-krotnie (rys. 4). Średnioroczny trend przyrostu nawożenia osiągał w tym okresie ok. 0,8 Tg/r. Zużycie nawozów azotowych na 1 mieszkańca Europy wynosiło ok. 8,6 kg N w 1960 r. i wzrosło do ponad 33 kg N w 1990 r.

Warto w tym miejscu krótko przypomnieć historię przemysłu nawozów azotowych w Polsce. Po wyzwoleniu w 1918 r., pierwsza fabryka produkująca nawóz azotowy – azotniak – powstała w Chorzowie. Nowoczesny zakład produkcji nawozów został wybudowany w latach 20. XX w. Mościcach k. Tarnowa (obecnie AZOTY TARNÓW); produkowano tam nawozy azotowe z wykorzystaniem polskiej technologii opracowanej przez I. Mościckiego, późniejszego Prezydenta RP. Produkcja nawozów azotowych w szczytowym roku okresu międzywojennego (1937 r.) osiągnęła jednak zaledwie 42,6 Mg (tys. t); po zniszczeniach podczas II wojny światowej, ten poziom produkcji odbudowano dopiero w 1947 r. Po wojnie odbudowano przemysł nawozowy oraz powstawały kolejne nowe fabryki nawozów w Kędzierzynie–Kozłu i w Puławach, we Włocławku i w Policach. Zużycie nawozów azotowych w 1960 r., a więc jeszcze przed uruchomieniem produkcji w Puławach, wynosiło ok. 0,3 TG (mln t) N i do 1990 r. wzrosło 5-krotnie, do ok. 1,48 TG N (rys. 5). Na 1 mieszkańca naszego kraju w 1960 r. przypadało niespełna 6 kg N, a w 1990 r. wzrosło do niemal 39 kg N, przekraczając średnią wartość dla całej Europy. Warto zwrócić uwagę, że zarówno w Europie jak i w Polsce, zużycie nawozów azotowych na 1 mieszkańca było w 1990 r. niemal 3-krotnie większe od średniej światowej.

Dynamiczny wzrost zużycia nawozów w latach 1960–1990 pociągnął za sobą również dynamiczny wzrost plonów roślin, szczególnie roślin zbożowych. W skali

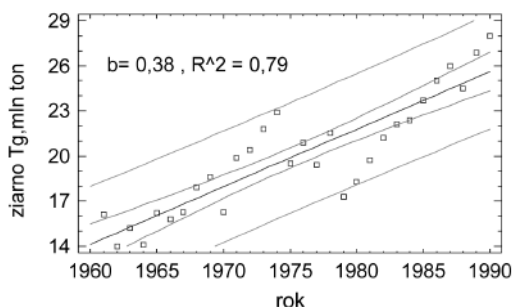


Rys. 7. Trend przyrostu zbiorów ziarna zbóż w Europie w latach 1960-1900 (FAOSTAT, obliczenia własne)

światowej produkcja ziarna zbóż wzrosła ze 877 Tg (mln t) w 1960 r. do ok. 1900 Tg w 1990 r. (rys. 6). Z uwagi na bardzo znaczny przyrost ludności w tym okresie (por. rys. 1) produkcja zbóż na 1 mieszkańca kuli ziemskiej zwiększyła się z ok. 340 kg ziarna do zaledwie 360 kg ziarna. Dzięki nawozom poziom wyżywienia ludności świata nie uległ pogorszeniu.

Zbiory zbóż w Europie wzrosły z ok. 260 Tg (mln t) w 1960 r. do niemal 480 TG w 1990 r., a więc niemal dwukrotnie (rys. 7). Produkcja zbóż na 1 mieszkańca Europy wynosiła już w 1960 r. ponad 400 kg ziarna i wzrosła do niemal 620 kg ziarna w 1990 r. W tej ilości ziarna zbóż znajduje się ok. 10 GJ energii i ok. 70 g białka. Ta ilość energii odpowiada pokryciu luksusowego zapotrzebowania człowieka, a ilość białka zapotrzebowanie to przekracza. Można zatem przyjąć, że dzięki nawozom Europa bardzo szybko pokonała powojenny syndrom niedożywienia swoich obywateli. W bardziej ogólnym wymiarze sukces ten zawdzięczamy mądrej polityce gospodarczej w tej części świata, a szczególnie Wspólnej Polityce Rolnej EWG i UE.

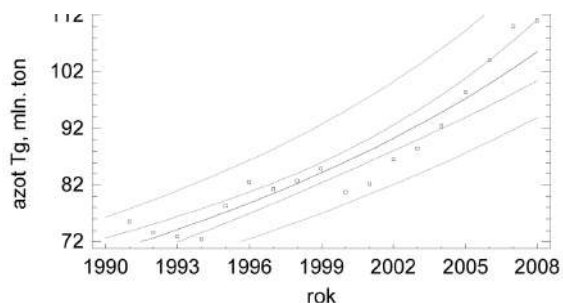
Pod koniec pierwszego tzw. planu 6-letniego w Polsce zbiory zbóż osiągnęły ok. 15 Tg (mln t) w 1960 r. i, dzięki nawożeniu, wzrosły do ok. 26 TG w 1990 r., a więc o niemal 75% (rys. 8). Produkcja zbóż na 1 mieszkańca naszego kraju wynosiła ok. 500 kg ziarna w 1960 r. i wzrosła do niemal 700 kg ziarna w 1990 r. Zapewniało to, nawet z pewną nadwyżką, pokrycie potrzeb żywnościowych ludności naszego kraju, tym bardziej wobec stabilizacji populacji od lat 80. ubiegłego wieku na niemal stałym poziomie. Należy jednak zwrócić uwagę na bardzo dużą zmienność zbiorów zbóż w Polsce, co wynika z ogólnie bardzo słabych gleb i niesprzyjających oraz zmiennych w latach warunków pogodowych. Szczególnie małe zbiory zbóż, niezapewniające samowystarczalności żywieniowej kraju notowano w końcu lat 70. i początku lat 80. ubiegłego wieku.



Rys. 8. Trend przyrostu zbiorów ziarna zbóż w Polsce w latach 1960-1990 (FAOSTAT, obliczenia własne)

W całym okresie 1960-1990 wielkość zbiorów zbóż była ściśle (statystycznie) związana z wielkością dawek nawozów azotowych (por. rysunki 3-5 z rysunkami 6-8). Z dokonanych, nieprezentowanych tutaj obliczeń wynika, że w skali świata przyrost zużycia nawozów o 1 kg N powodował przyrost zbiorów zbóż o 14 kg ziarna. W skali Europy zależność ta kształtowała się jak 1:9,2, a w skali Polski jak 1:7,65. Zatem tzw. efektywność nawożenia azotem była w Polsce, w porównaniu z Europą i całym światem, niezadowalająca. Wynika to ze wspomnianych już wcześniej gorszych warunków naturalnych do produkcji zbóż w naszym kraju. Omawianą zależność zbiory-nawozy należy rozumieć w ten sposób, że głównym czynnikiem plonotwórczym są nawozy (azotowe), których efektywność nakłada się na postęp w zakresie hodowli roślin, a głównym czynnikiem plonochronnym są środki ochrony roślin. Rozważania, jaki jest udział w zbiorach każdego z tych trzech czynników, są bezowocne, gdyż występują tutaj ściśle współzależności. Nie ulega jednak wątpliwości, że pierwotnym czynnikiem sprawczym jest nawożenie, głównie azotem. Dla celów Public Relations podaje się często, że nawozy zapewniają wyżywienie ok. 48% populacji ludzkiej na kuli ziemskiej i być może dałoby się także stwierdzenie obronić naukowo.

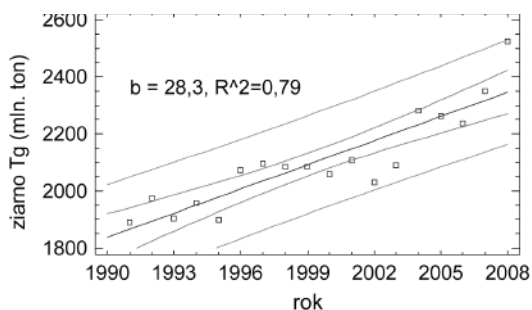
Na początku lat 90. ub. w. nastąpiło bardzo znaczne zmniejszenie zużycia nawozów azotowych w Europie i w Polsce. Spadek zużycia, na przestrzeni zaledwie kilku lat osiągnął niemal 40% w Europie (do ok. 15 Tg N) i ok. 50% w Polsce (do ok. 0,7 TG N). W całym okresie 1992-2008 zużycie nawozów azotowych w Europie nadal malało, osiągając poziom zaledwie ok. 10 TG N, a więc z końca lat 60. XX w. W Polsce odnotowano w tym czasie bardzo powolny przyrost zużycia nawozów azotowych, do poziomu przekraczającego 1,1 TG w 2008 r. (a więc osiągniętego poprzednio w połowie lat 70.). W Europie zbiory zbóż uległy pewnemu obniżeniu z ok. 470 Tg ziarna średnio w latach 1985-1990 do ok. 420 Tg ziarna średnio w latach 2000-2005, natomiast w Polsce zbiory ziarna utrzymały



Rys. 9. Trend zużycia nawozów azotowych na świecie w latach 1991-2008 (Roczniki Statystyki Międzynarodowej GUS 2007, 2009; obliczenia własne)

się w obydwu porównywanych 5-letnich okresach na bardzo podobnym poziomie ok. 26 Tg ziarna. Pozornie jest to trudne do wyjaśnienia w zestawieniu ze spektakularnym przyrostem zbiorów w latach 1960-1990 przypisywanym wzrastającemu wówczas zużyciu nawozów azotowych. Zjawisko to można wytłumaczyć swoistą histerezą pól. Histereza jest terminem stosowanym w naukach fizycznych i chemicznych i najogólniej polega na tym, że przebieg jakiegoś procesu, np. nagrzewania metalu, sorpcji składnika itp. przebiega szybciej (bardziej stromo) od procesu odwrotnego, np. stygnięcia metalu, desorpcji składnika itp. przebiegającego wolniej (bardziej płasko). Podobnie wzrost zbiorów pod wpływem zwiększania dawek nawozów zachodzi szybciej, niż ich zmniejszanie w wyniku obniżania dawek nawozów. W dłuższym okresie te przeciwstawne procesy muszą jednak doprowadzić do tego samego punktu wyjścia. Świadomość taka (może intuicyjna) potwierdza się już w Polsce; od 1992 r. zużycie nawozów ponownie systematycznie wzrasta (także w całej Europie w 2009 r. po raz pierwszy od wielu lat odnotowano przyrost zużycia nawozów azotowych, w stosunku do referencyjnego 2007 r. o ok. 3%). Zarówno Europa jak i Polska produkuje wystarczającą ilość żywności; wręcz jest eksporterem netto artykułów rolno-spożywczych. W tej sytuacji nie powinno dziwić ograniczanie nawożenia, zwłaszcza wobec narastającej presji środowiskowej. Ludność świata, a ściślej wielu jego regionów, pozostaje jednak wciąż niedożywiona, a regiony ubogie w żywność upatrują szanse zmiany tej sytuacji w zwiększaniu ilości stosowanych nawozów, w tym przede wszystkim azotowych.

W latach 1991-2008 w skali świata następował dynamiczny przyrost zużycia nawozów azotowych i to według krzywej wykładniczej (ściśle *reciprocal-Y*) (rys. 9). Aproksymując tę krzywą do linii prostej, można przyjąć, że średnioroczne tempo przyrostu zużycia nawozów w tym okresie wynosiło ok. 2,1 Tg (mln t) $N \cdot rok^{-1}$, a więc niewiele ustępowało tempu osiągniętemu w latach 1960-1990



Rys. 10. Trend przyrostu zbiorów ziarna zbóż w świecie w latach 1991-2008 (Roczniki Statystyki Międzynarodowej GUS 2007, 2009; obliczenia własne)

(por. rys. 3). Pod koniec pierwszej dekady XXI w. jednostkowe zużycie nawozów azotowych wynosiło ok. 16,4 kg N na 1 mieszkańca kuli ziemskiej, a więc nadal było dwukrotnie mniejsze od osiągniętego w Europie pod koniec lat 90. ub. w. W latach 1990-2008 zbiory zbóż na świecie wzrosły z ok. 1890 Tg (mln t) do niemal 2400 Tg, to znaczy o ok. 27% (rys. 10).

Na 1 mieszkańca kuli ziemskiej w 2008 r. przypadało jednak nadal ok. 360 kg ziarna, podobnie jak przed 20. laty. Przyrost zbiorów jest zatem proporcjonalny do przyrostu liczby ludności i przeciętny stan jej wyżywienia nie ulega poprawie. Taka sytuacja wynika ze statystycznych rachunków obejmujących kraje o dużych nadwyżkach żywności, jak USA, Kanada, Australia, oraz krajów, w których panuje głód, jak kraje afrykańskie i azjatyckie. Szczegółowa analiza takiej sytuacji przekracza ramy niniejszej publikacji. Wszystko wskazuje jednak na to, że w tych krajach zużycie nawozów azotowych jako głównego czynnika plonotwórczego będzie się nadal wzrastało, a to oznacza wzrost zużycia nawozów w skali światowej.

Cykl azotowy

Na konferencji *Stan Planety Ziemi* zorganizowanej w marcu br. w Nowym Jorku po raz pierwszy sformułowano hipotezę o wkroczeniu ziemi w nową epokę geologiczną nazwaną *Antropocenem*, następującą po trwającej ok. 10 tys. lat epoce *Holocenu*. *Antropocen* jest epoką, w której oddziaływania człowieka na otaczającą przyrodę zaczynają przeważać nad oddziaływaniem czynników naturalnych. J. Rockstrom, dyrektor Stockholm Resilience Centre, przedstawił na tej konferencji i uszeregował 9 obszarów, które mają szczególne znaczenie dla bezpieczeństwa przyrody. W grupie tych obszarów na drugim miejscu znalazł się cykl azotowy, znacznie wyprzedzający pod względem skali zagrożenia

osławione już ocieplenie klimatu. Cykl azotowy jest to w najogólniejszym ujęciu obieg azotu w biosferze, geosferze i atmosferze. Na obieg azotu składa się 5 głównych procesów:

- wiązanie azotu atmosferycznego (stanowiącego ok. 79% objętościowych w składzie powietrza)-pobieranie związków azotu przez rośliny
- amonifikacja, tzn. rozkład związków organicznych zawierających azot
- nityfikacja, tzn. utlenianie amoniaku do azotanów
- denityfikacja, tzn. redukcja azotanów do tlenków azotu i azotu cząsteczkowego (atmosferycznego).

W epoce *Holocenu* wszystkie te procesy miały charakter biochemiczny i odbywały się za pośrednictwem mikroorganizmów, w tym symbiotycznych i wolno żyjących bakterii wiążących azot cząsteczkowy (atmosferyczny). Pomiedzy wymienionymi procesami ustalony był stan równowagi niezagrażający przyrodzie. W *Antropocenie* dopływają do biosfery ogromne ilości azotu bezpośrednio (synteza chemiczna, głównie proces Habera-Boscha) lub pośrednio (spalanie paliw kopalnych, uprawa roślin motylkowych), stanowiących efekt działalności człowieka. Szczególne znaczenie ma synteza chemiczna, w wyniku której dopływa obecnie do biosfery ok. 110 Tg (mln t) N rocznie, co przewyższa już ilości azotu wiązanego biologicznie. Na przestrzeni 100 lat (od początku opanowania tego procesu) w chemicznym wiązaniu azotu nastąpił ogromny postęp, mierzony nakładem energii na produkcję 1 t amoniaku (NH_3). W metodzie Birkelanda-Eydego (1902 r.), nakład energii wynosił ok. $400 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1} \text{NH}_3$, w produkcji cyjanamidu wapnia (1905 r.) ok. $250 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1} \text{NH}_3$; a w pierwotnej metodzie Habera-Boscha (1913 r.) ponad $100 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1} \text{NH}_3$. W wyniku doskonalenia tej ostatniej metody (reforming parowy) przodujące fabryki nawozów zużywają obecnie ok. $32 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1} \text{NH}_3$. Tym niemniej, nawet z tak oszczędną energetycznie produkcją amoniaku związana jest emisja gazu cieplarnianego – dwutlenku węgla – w ilości ok. $1,6 \text{ t CO}_2\cdot\text{t}^{-1} \text{NH}_3$. Dalsze przetwarzanie amoniaku na kwas azotowy powoduje emisję kolejnego gazu cieplarnianego, podtlenku azotu w ilości ok. $1,85\text{-}2,5 \text{ kg N}_2\text{O}\cdot\text{t}^{-1} \text{HNO}_3$. Warto w tym miejscu przypomnieć, że równoważnik cieplarniany podtlenku azotu w stosunku do dwutlenku węgla wynosi ok. 300.

Związany azot, w ogromnej większości zużywany jest jako nawóz w żywieniu roślin. Wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez rośliny rzadko jednak przekracza 60%. Niewykorzystany azot ulega ulatnianiu do atmosfery w formie amoniaku (NH_3), tlenków azotu (N_2O , NO , NO_2) i inertnego chemicznie azotu cząsteczkowego (N_2) oraz wymywaniu do wód podziemnych, a następnie powierzchniowych i mórz, w formie jonów NH_4^+ i głównie NO_3^- . Wszystkie

te związki, z wyjątkiem azotu cząsteczkowego, są szkodliwe dla przyrody. Podtlenek azotu jest gazem cieplarnianym, tlenek azotu niszczy warstwę ozonową w stratosferze, a dwutlenek azotu i amoniak powodują zakwaszanie wody opadowej i zjawisko tzw. kwaśnych deszczy. Jon azotanowy jest głównym (obok fosforanów) czynnikiem eutrofizacji wód prowadzącej do tzw. zakwitów wody. Na tym jednak nie kończy się antropogeniczny cykl związanego azotu. Związki azotu w roślinach (pochodzące głównie z nawozów) są wykorzystywane w żywieniu zwierząt gospodarskich i odżywianiu człowieka. W procesach metabolicznych tych konsumentów powstają azotowe produkty odpadowe, amoniak, mocznik i kwas moczowy, które ponownie dostają się do atmosfery oraz do wód podziemnych i powierzchniowych, z opisanymi wcześniej skutkami. Zamknięcie cyklu azotowego nie wydaje się możliwe, wobec jego ścisłego związku z wyżywieniem ludności na kuli ziemskiej i cykl ten nadal będzie stanowił zagrożenie dla przyrody. Metody ograniczania tego zagrożenia, to już osobny obszerny temat...

Podsumowanie

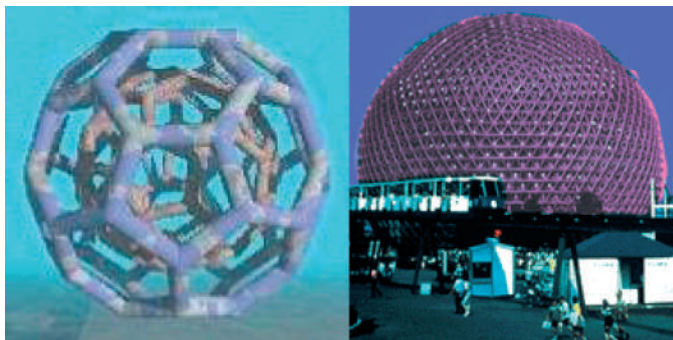
Chemia rolnicza jest działem chemii zajmującym się żywieniem roślin, chemicznymi podstawami żyzności gleby i szeroko rozumianym nawożeniem. Nawozy mineralne są podstawowym czynnikiem plonotwórczym i spełniają zasadniczą rolę w zwiększaniu pierwotnej produkcji rolniczej, jaką jest produkcja roślinna. Wzrost zużycia nawozów w okresie od opanowania ich syntezy chemicznej (praktycznie początek XX w.) umożliwił utrzymanie tempa przyrostu produkcji żywności co najmniej dorównującego tempu przyrostu ludności kuli ziemskiej. Tym samym czynnik ten, we współdziałaniu z postępowaniem biologicznym (hodowlanym) i przy ograniczeniu strat produkcji powodowanych przez chwasty i patogeny, przyczynił się do obalenia teorii Malthusa zakładającej nieuchronność głodu, wraz ze wszystkimi konsekwencjami tego zjawiska. Synteza chemiczna nawozów azotowych ingeruje jednak w naturalny cykl azotowy powodując jego otwarcie i ujemne skutki dla przyrody. Proces ten jest jednym z wyznaczników nowej epoki geologicznej, w którą wkracza kula ziemska – epoki *Antropocenu*.

CHEMIA BUDUJE

CZARNECKI Lech

Przedstawiono definicję, tradycję i znaczenie chemii w rozwoju budownictwa. Ukazano chemię budowlaną widzianą oczyma internautów. Przedyskutowano chemiczne uwarunkowania zrównoważonego budownictwa oraz aspekty wdrażania nanotechnologii w budownictwie. Na zakończenie sformułowano i uzasadniono postulat „więcej chemii w budownictwie”. Chemia budowlana jest jednym z istotnych generatorów postępu w dziedzinie budownictwa.

Słowa kluczowe: chemia budowlana, zrównoważone budownictwo, materiał budowlany, modyfikacja, nanomodyfikacja, nanomonitoring



Ilustracja powinowactwa ducha między mikrokonstrukcją materiału - Fuleru C_{60} a makrokonstrukcją budowli

CHEMISTRY BUILDS UP

CZARNECKI Lech

The definition, tradition and the importance of chemistry in the civil engineering development was presented. It was shown how building chemistry is seen by internauts. The chemical conditions of sustainable civil engineering as well as implementation aspects of nanotechnology in civil engineering were discussed. To sum up the statement “more chemistry in civil engineering” was formulated and justified. Building chemistry is one of the major generators of progress in the civil engineering field.

Keywords: chemistry building, sustainable construction, building material, modification, nanomodyfikacja, nanomonitoring

CHEMIA BUDUJE

Lech CZARNECKI – Katedra Inżynierii Materiałów Budowlanych,
Wydział Inżynierii Łądowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Wprowadzenie

Z wielką satysfakcją przyjąłem zaproszenie Redakcji miesięcznika „Chemik” do udziału w projekcie Słoneczna Chemia i opracowania tematu „Chemia buduje”.

Satysfakcja jest podyktowana faktem, że zawołanie „Chemia Buduje” można by przyjąć jako konkluzję z mojej ponad 40-letniej pracy dydaktycznej i badawczej w obszarze chemii budowlanej. Oczywiście, hasła *Słoneczna Chemia* i *Chemia buduje* zawierają duży ładunek emocji – *pozytywnej chemii*, który w toku dalszego wywodu postaram się zracjonalizować. Projekt Słoneczna Chemia został podjęty w związku z proklamowaniem przez Zgromadzenie Ogólne ONZ z inicjatywy Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej – Roku 2011, Międzynarodowym Rokiem Chemii – w 100-lecie uzyskania Nagrody Nobla z chemii przez Marię Skłodowską-Curie. Celem projektu jest – jak to pięknie określono – przywrócenie fascynacji chemią – *nauką prastarą i supernowoczesną*. W wymiarze pragmatycznym rzecz dotyczy uświadomienia i podkreślenia roli chemii jako pierwszorzędnej w rozwiązywaniu współczesnych problemów – także w innych dziedzinach nauki i techniki. Niniejszy artykuł dotyczy tych innych dziedzin, a mianowicie nauk inżynierskich – inżynierii lądowej, a w obszarze techniki – budownictwa. Jest to również okazja do wyrażenia aprecjacji dla chemii za wkład, jaki wniosła w rozwój budownictwa.

Jak chemia buduje?

Chemia w znaczeniu leksykalnym, to jedna z podstawowych nauk przyrodniczych, zajmująca się badaniem właściwości, składu i budowy substancji oraz ich przemianami i warunkami wpływającymi na kierunek i szybkość ich przemian. Profesor Marian Taniewski zapoczątkował [1] cykl Słonecznej Chemii studium filozoficznym pt. „Chemia jest nauką interdyscyplinarną i ma ogromne znaczenie w wielu innych dziedzinach”. W studium tym Autor wyróżnił pojęcie *chemia* jako nadrzędne pojęcie zbiorcze, scalające grupę *nauk chemicznych*.

W tym zbiorze możemy wyróżnić *nauki przyrodnicze* (chemia ogólna) stanowiące fundament powszechnej wiedzy o otaczającej nas materii (prawo, budowa i zachodzące zmiany) oraz nauki stosowane, w tym technologia i inżynieria chemiczna. W tym kontekście trywialne stwierdzenie, że „wszystko jest z czegoś, a wszystkie obiekty budowlane są z materiałów budowlanych” przesądza o znaczeniu chemii w budownictwie. Ponadto, budownictwo spośród innych działalności technicznych zdecydowanie wyróżnia [2]:

- trwałość obiektów budowlanych
- wielkie ilości materii – masy, energii przetwarzane w celu wzniesienia budowli.

Nie ma drugiej takiej działalności inżynierskiej, gdzie czas użytkowania wyrobu byłby mierzony krotnością życia twórcy. W tym kontekście tylko o dziełach Homera i Colloseum w Starożytnym Rzymie można powiedzieć, że są wiecznotrwałe. Paradoksalnie w tym wymiarze istnieje pokrewieństwo dzieł ducha i materii. Przemysł betonowy rocznie zużywa na świecie:

- 20 bln ton kruszywa
- 1,6 bln ton cementu
- 800 mln m³ wody (w tym 0,5% ogólnego zużycia wody – nieodwracalnie)
- 40% wytwarzanej energii,

ponadto, emituje 7% ogółu gazów cieplarnianych (udział budownictwa ogółem w emisji gazów cieplarnianych wynosi 35%). Budownictwo zaspokaja jedną z podstawowych potrzeb społecznych, jednak skutki tej działalności nie mogą być społecznie obojętne. Przyporządkowanie budownictwa zasadom zrównoważonego rozwoju jest koniecznością; takiego rozwoju, który zaspokajając potrzeby obecne nie ograniczy przyszłym pokoleniom zaspokajania ich potrzeb [3]. Realizacja zrównoważonego rozwoju budownictwa, w tym zapewnienie trwałości obiektów, racjonalizacja zużycia energii i ochrona środowiska, byłaby niemożliwa bez wiedzy chemicznej. Ponadto, budowanie to stosowanie materiałów budowlanych; w większości wyrobów będących rezultatem technologii chemicznej, zarówno w odniesieniu do wyrobów tradycyjnych, takich jak cement, wapno, beton, bitumy, jak i wyrobów nowoczesnych, takich jak polimerowe modyfikatory betonu, środki ochrony antykorozyjnej, materiały do napraw i wzmocnień konstrukcji.

Definicja chemii budowlanej

Chemia budowlana początkowo była utożsamiana z chemią materiałów budowlanych [4], tzn. nauką opisującą budowę chemiczną i wynikające stąd właściwości materiałów budowlanych. Wydzielenie jako działu nauk chemicznych pierwotnie było podyktowane przede wszystkim znaczeniem gospodarczym tego obszaru i przyporządkowaniem mu ogromnych ilości przetwarzanej materii – ok. 40% masy i energii rocznie konsumowanej pochłania budownictwo. Europejski Komitet Normalizacyjny, CEN, podaje, że budownictwo wytwarza 10% dochodu narodowego brutto i stanowi 50% środków trwałych brutto. O skali zróżnicowania wyrobów budowlanych może świadczyć ok. 1500 norm na wyroby i drugie tyle norm dotyczących różnych, w tym często chemicznych, metod badań. Trudno przecenić znaczenie społeczne tej działalności. Na potrzeby budownictwa w Europie pracuje 26 mln ludzi, w tym 12 mln jest bezpośrednio zaangażowanych w proces wznoszenia budowli i budynków, a wszyscy jesteśmy użytkownikami obiektów budowlanych.

Postęp w budownictwie jest podyktowany rozwojem materiałów budowlanych i metod projektowania. W obecnym okresie wiodąca rola przypadła materiałom budowlanym. Rozwój materiałów budowlanych – między innymi ze względu na ogromny potencjał zawarty w już istniejącym przemyśle budowlanym – odbywa się przede wszystkim przez modyfikację obecnie stosowanych głównych grup materiałów konstrukcyjnych, oraz przez wdrażanie innowacji w obszarze materiałów wykończeniowych, izolacyjnych (wodo-, paro-, dźwięko-, ciepłno... itp), naprawczych i do ochrony powierzchniowej. Ogromna rola przypada tu różnego rodzaju dodatkom i domieszkom. Poszukuje się modyfikatorów wywołujących istotny efekt synergiczny; oznacza to, że właściwości powstałego kompozytu są zasadniczo odmienne niż by to wynikało z prostego sumowania właściwości składników i ich udziałów. Niewielka (nawet poniżej 1% masy) domieszka może być przyczyną istotnej zmiany właściwości technicznej. Rozwój przemysłu tego rodzaju wyrobów, ogólnie określanych pojęciem chemii budowlanej, spowodował, iż jest to chemia stosowana (*applied chemistry*) i bardzo często zaawansowana (*advanced chemistry*) – zaawansowana (stosowana) chemia budowlana.

Szereg zjawisk i procesów chemicznych zachodzących podczas otrzymywania wyrobów budowlanych (np. chemia cementu), wznoszenia (procesy wiązania i twardnienia, klejenia), użytkowania (np. karbonatyzacja betonu, korozja stali zbrojeniowej) i recyklicacji elementów budowlanych, okazało się specyficzne dla

tej dziedziny działalności. Oczywiście, czynnikiem wyróżniającym jest trwałość i jej chemiczne uwarunkowania – nie ma innej działalności inżynierskiej, która wymagałaby trwałości wyrobów 50 lat i więcej. Wszystko to spowodowało, że początkowe utożsamianie chemii budowlanej z chemią ogólną (podstawowe prawa chemiczne) i wybranymi działami chemii nieorganicznej okazało się niewystarczające. Chemia budowlana, to stosowana nauka przyrodnicza, traktująca o budowie chemicznej materiałów budowlanych i surowców do ich wytwarzania, o chemicznych uwarunkowaniach właściwości technicznych tych materiałów oraz wyjaśniająca zjawiska i procesy chemiczne zachodzące podczas wytwarzania i użytkowania materiałów i elementów budowlanych, a także ich oddziaływanie na środowisko. W tym kontekście chemia budowlana, to raczej chemia w budownictwie [5], obejmująca obok chemii ogólnej i wybranych działów chemii nieorganicznej i organicznej, także – w zaadresowaniu do budownictwa – zagadnienia termodynamiki chemicznej, kinetyki chemicznej, elektrochemii (korozja i ochrona zbrojenia stalowego) oraz chemii środowiskowej. Chemia budowlana, w wersji niemieckiej, „Bauchemie”, doczekała się hasła w Wikipedii, które w ogólnych zarysach jest zbliżone do podanej wyżej definicji.

W klasycznym układzie programu kształcenia i doskonalenia inżynierów otrzymywalibyśmy odpowiedzi na następujące pytania:

– **co?** – **materiały budowlane** – zdefiniowanie zbioru materiałów budowlanych i ich właściwości technicznych

– **dłaczego?** (materiał zachowuje się w dany sposób)? – **chemia budowlana** – chemiczne uwarunkowania właściwości technicznych materiałów budowlanych oraz zjawiska i procesy chemiczne, zachodzące podczas wytwarzania, stosowania i użytkowania materiałów budowlanych

– **jak?** (wytwarzać i stosować)? – **technologia materiałów budowlanych**

– **jak?** (projektować, kształtować, oceniać i dobrać)? – **inżynieria materiałów budowlanych** – relacja „mikrostruktura – właściwości” i jej wykorzystanie do projektowania, modyfikacji i optymalizacji, oraz doboru materiałów budowlanych do danego zastosowania.

Inżynieria materiałów budowlanych spełnia tu rolę nadrzędną, a przyporządkowane jej słowa kluczowe, to: synergia, projektowanie i optymalizacja materiałowa, kompatybilność – zapewnienie warunków dobrej współpracy różnych materiałów w jednym układzie.

Erstes Sika-Sortiment

Einem Sika-Handbuch aus dem Jahr 1925 entnehmen wir folgendes schon recht umfangreiches Sortiment:

Sika-1

Dichtungsmittel für Zementmörtel

Sika-2, -3, -4 und -4a

verschiedene Abbindebeschleuniger

Purigo, Fluote

Härter für Stein- und Betonoberflächen

Conservado

Impregniermittel zum Dichten und Härten von Kunststein, Beton usw.

Igas

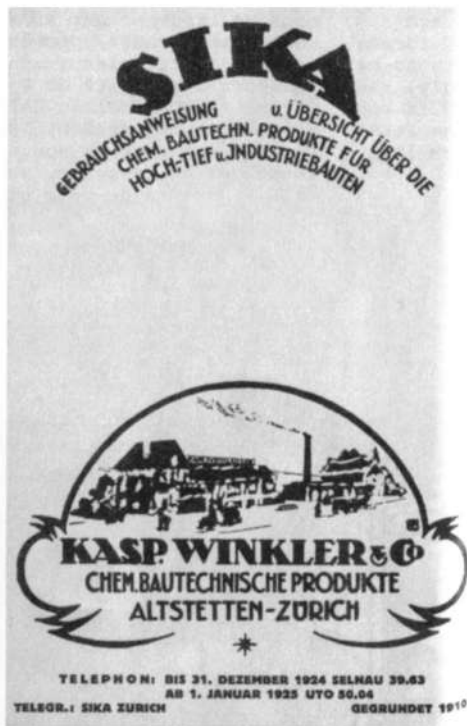
Kit- und Anstrich-Präparate, flexibel, wetterfest usw.

Igol/Sanierungs-Beläge

flexibler Schutzanstrich für Beton, Mauerwerk



16



Rys. 1. Pierwszy prospekt firmy SIKA zapowiada produkty chemii budowlanej

Tradycje chemii budowlanej

Pierwsza wytwórnia „nowoczesnych” wyrobów chemii budowlanej powstała równo 100 lat temu w Zurychu, a w latach 1919-1922 pierwsze produkty SIKA zostały wykorzystane do uszczelnienia tunelu Św. Gotarda (rys. 1).

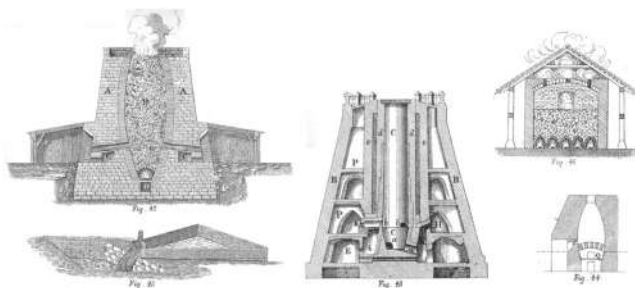
Trzydzieści lat wcześniej – w roku akademickim 1889/1890 na Uniwersytecie Bolońskim – profesor nadzwyczajny Alfredo Cavazzi wydał pierwszy w Europie podręcznik chemii budowlanej *Lezione di Chimica Docimastica Fatte Nella R. Scuola di Applicazione per Gl'ingegneri*. Przedmiot był wykładany w środy i soboty, a we wtorki odbywały się ćwiczenia laboratoryjne (analiza) – łącznie 4 godziny wykładów i 2 godziny ćwiczeń tygodniowo, na pierwszym roku studiów (rys. 2). Jest to większy wymiar, niż przewidują obecne minima programowe. Liczący blisko 250 stron i 60 rysunków podręcznik zawiera obszerny rozdział *Materiali Cementati* (rys. 3 i 4) i jest zorientowany głównie na chemię nieorga-



GIORNO DELLA SETTIMANA	ANNO SCOLASTICO																				
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
Lunedì . . .											Stipite grafite – lezione e disegno.										
Martedì . . .				Cristallologia – lezione		Meccanica applicata – disegno															
Mercoledì . . .	Stipite grafite – lezione		Chimica docimastica – lezione													Applicazioni della geometria descrittiva – lezione e disegno.					
Giovedì . . .				Cristallologia teorica – lezione		Meccanica applicata – disegno												Stipite grafite – lezione e disegno.			
Venerdì . . .	Cristallologia teorica – esercizi													Meccanica applicata – disegno.				Applicazioni della geometria descrittiva – lezione e disegno.			
Sabato . . .				Cristallologia teorica – lezione		Meccanica applicata – disegno												Cristallologia teorica – lezione.			

N. B. – Le lezioni orali di Cristallologia teorica e di Meccanica applicata, e gli esercizi pratici, avranno luogo nei giorni indicati nel presente orario, e durante le lezioni orali.

Rys. 2. Strona tytułowa pierwszego (1889/1890) podręcznika chemii budowlanej i plan zajęć pierwszego roku Inżynierii Lądowej na Uniwersytecie Bolońskim



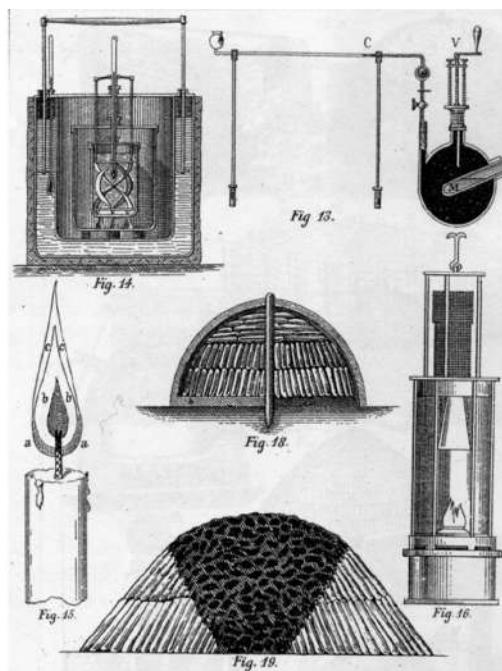
Rys. 3. Instalacje do wypalania spoiw mineralnych oraz gaszenia wapna (Fig. 45), wg A. Cavazzi, 1890

Tablica 1

Wyniki poszukiwania informacji o chemii budowlanej za pomocą wyszukiwarki Google

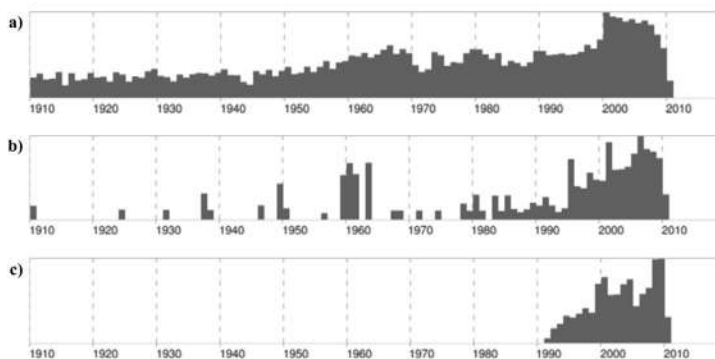
Hasło	Liczba informacji, tys.
Construction chemistry	3930
Chemia budowlana	521
Bauchemie	318

niczną. Warto to zestawić z jednym z pierwszych podręczników chemii budowlanej, jaki ukazał się w XXI w., który jest w całości poświęcony chemii organicznej: Y. Mouton „Organic Materials in Civil Engineering”, ISTE, 2006. Pierwsze zdania tej książki wskazują, że materiały organiczne – polimery, są środkami zapewniającymi „połączenie-adhezję”. Normy Europejskie z serii 1504 „Wyroby i systemy do napraw i ochrony konstrukcji betonowych” ponad 70 razy wymieniają polimery. To zestawienie pokazuje, jaką drogę przebyła ta dziedzina wie-



Rys. 4. Laboratorium chemii budowlanej – kalorymetria, wg A. Cavazzi, 1890

Interesującą ilustrację (rys. 5) tych rozważań przynosi analiza strumienia informacji na osi czasu za ostatnie 100 lat, dostępna w wyszukiwarce Google Archives. Dostępne są zbiory: *construction chemistry*, *Bauchemie*, chemia budowlana. Jedynie w przypadku *construction chemistry* można zaobserwować



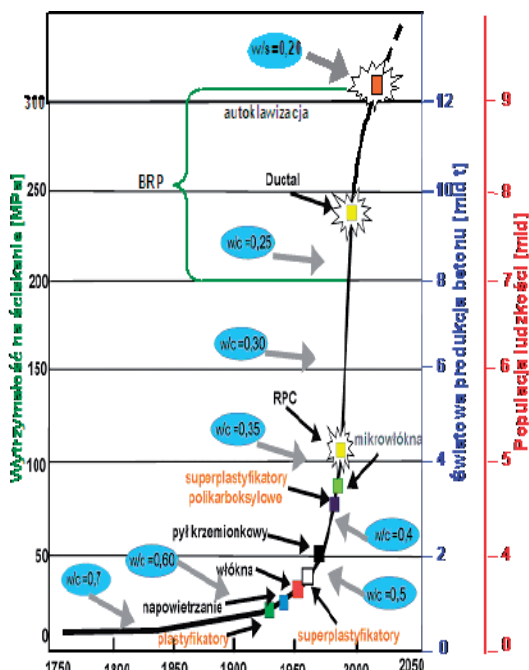
Rys. 5. Strumień informacji (wartości względne):

a) *construction chemistry*, b) *Bauchemie*, c) chemia budowlana, wg Google Archives

dzy i jakie potrzeby ukierunkowały jej rozwój.

Chemia budowlana w oczach internautów

Ciekawy jest obraz „wirtualnej areny” chemii budowlanej (tab. 1): hasło *construction chemistry* wywołuje blisko 4 mln informacji, polska „chemia budowlana” pozwala uzyskać ponad 500 tys. odpowiedzi, a niemieckie „*Bauchemie*” – tylko nieco ponad 300 tys. Odwrotnie do liczności zbioru informacji, pytania są zadawane najczęściej w języku niemieckim, a następnie w języku polskim, język angielski wśród internautów zainteresowanych chemią budowlaną to dopiero ósma pozycja.



Rys. 6. Uogólniona krzywa rozwoju betonu

stały wzrost i wystąpienie dominanty w ostatnim 20-leciu. W przypadku Bauchemie przez dziesiątki lat dopływ informacji wykazuje stagnację na stosunkowo niskim poziomie i maksimum w latach 1990-2010. Zbiór „chemia budowlana” dopiero od 1990 r. jest zauważalny i potężnie rośnie.

Chemiczne uwarunkowania zrównoważonego budownictwa

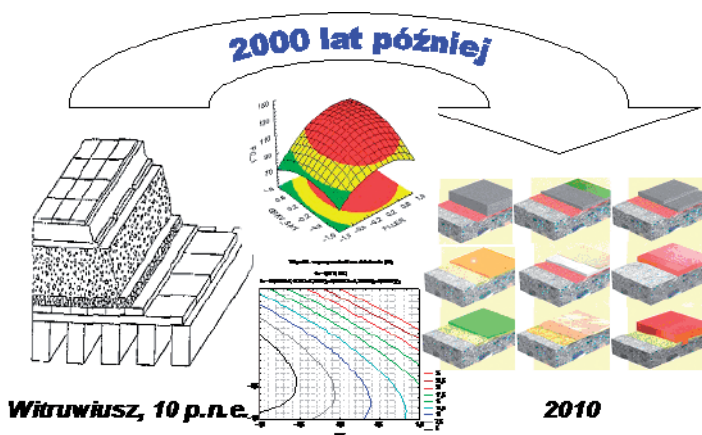
Postulat zrównoważonego rozwoju aspiruje do wiodącej idei cywilizacyjnej i zapewne będzie to megatrend kształtujący rozwój budownictwa. Komisja europejska zaliczyła zrównoważone bu-

downictwo do jednego z sześciu rynków pionierskich – *Lead Market Initiative*.

Zasada zrównoważonego budownictwa w odniesieniu do wznoszenia, użytkowania i rozbiórki obiektu budowlanego ma stać się jednym z wymagań podstawowych. Stawia to zadania, które można sklasyfikować w 4 grupach:

- materiałowe uwarunkowania zrównoważonego rozwoju budownictwa
- energetyczne uwarunkowania zrównoważonego rozwoju budownictwa
- oddziaływanie budowli na środowisko naturalne (ekologia)
- oddziaływanie budowli na środowisko wewnętrzne (mikroklimat).

We wszystkich tych obszarach chemia budowlana dostarcza zarówno pomocnych idei: obiekt budowlany przyjazny środowisku, to taki, który wykazuje minimum zmian entropii i pochłania minimum energii, jak i (co w tych rozważaniach ważniejsze) wielu konkretnych rozwiązań materiałowych. Świadczy o tym dotychczasowy asortyment produktów chemii budowlanej oraz przewidywane kierunki jego rozwoju. Można tu przykładowo wymienić: domieszki do betonu; materiały do napraw, wzmocnień i ochrony konstrukcji betonowych; materiały łączące: kleje, kity, uszczelnienia zakotwienia; materiały izolacyjne (różnego rodzaju).

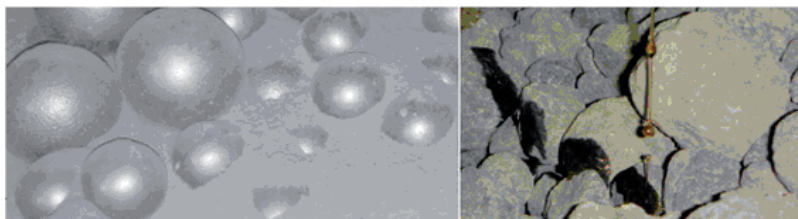


Rys. 7. Rozwój posadzek przemysłowych jako przykład realizacji *performance concept* w wyniku optymalizacji materiałowej

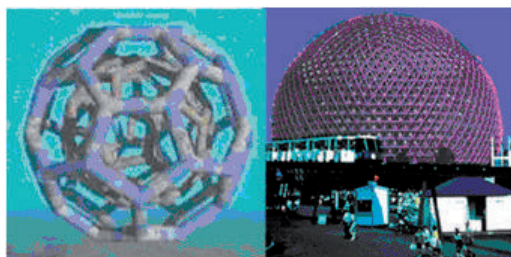
Krzywa rozwoju betonu unaocznia, iż postęp w technologii betonu – „napędzany” zmniejszaniem współczynnika wodno-spoiwowego – byłby niemożliwy, gdyby nie wspinałe osiągnięcia w poprawie skuteczności domieszek upłynniających mieszkę betonową (rys. 6). Wprowadzone upłynniacze kolejnych generacji, to: lignosulfoniany sodowe, sulfonowane żywice melaminowo-formaldehadowe i melaminowo-naftalenowo-formaldehadowe, polikarboksylany, kopolimery kwasu akrylowego i akrylanu metylu.

Współczynnik wodno-cementowy w czasach wynalazcy nowoczesnego betonu, Josepha Aspdina (1824 r.), wynosił 0,7; obecnie jest możliwe uzyskanie wskaźników: $w/s = 0,20-0,25$. Zastosowanie karboksylanowego upłynniacza nowej generacji umożliwiło między innymi **wspinałe polskie osiągnięcie** Tomasza Zdeba i Jacka Śliwińskiego (Politechnika Krakowska) – uzyskanie betonu na proszkach reaktywnych (BRP) o wytrzymałości na ściskanie w zakresie 200-300 MPa, w zależności od metody pielęgnacji (pod wodą, naparzanie, autoklawizacja). Domieszki do betonów i ich zestawy zapoczątkowały również rozwój betonów *samoobsługowych*, których wyróżniającym się przykładem jest beton *samozagęszczalny*.

Zrównoważony rozwój wymaga doboru rozwiązań materiałowo-technologicznych według kryteriów użyteczności – *performance concept*; cechy techniczne niewykorzystane w danym zastosowaniu, bądź reprezentujące wartości nadmiarowe stanowią nieracjonalny koszt (nakład energetyczny). Powstaje konieczność wytwarzania wyrobów o **dobrze zdefiniowanych cechach technicznych** – *Well Defined Performance Product*, **WDPP**. Dotyczy to nie tylko betonu, ale



Rys. 8. Mielenie klinkieru cementowego: a) z dodatkiem polikarboksylanu, b) bez polikarboksylanu - oblepione kule (SikaGrind, 2010)



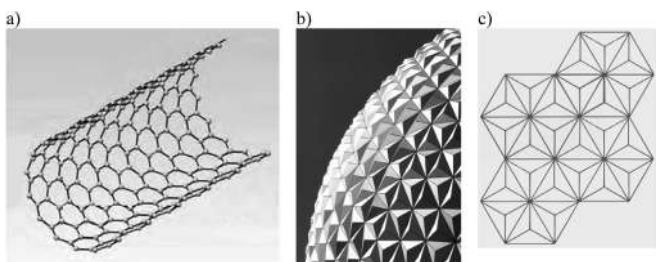
Rys. 9. Ilustracja „powinowactwa ducha” między „mikrokonstrukcją materiału” [16] - fuleren, C_{60} (M. Kroto, E. Smalley, R.F. Cure - Nobel 1996) a „makrokonstrukcją budowli” (R. Buckminster Fuller, Montreal, 1967)

także wielu innych rozwiązań materiałowo-technologicznych, np. posadzek przemysłowych (rys. 7).

Za czasów Witruwiusza („Dziesięć ksiąg o architekturze”) istniał jeden uniwersalny typ posadzki, obecnie oferuje się kilkadziesiąt odmian posadzek przemysłowych. We wszystkich obszarach, a dotyczy to zwłaszcza napraw, wzmocnień, złączy i izolacji, należy oczekiwać indywidualnej optymalizacji, popartej „małą ekspertyzą”. Chemia budowlana dostarcza tu środków umożliwiających realizację tych zamierzeń. Dotyczy to zarówno użyteczności wyrobów, jak i przebiegu procesów. Doskonale ilustruje to dodatek polikarboksylanu w procesie mielenia cementu (rys. 8). Zawołanie „mała kropla – wielki efekt”, chociaż brzmi bardzo reklamowo, **wyraża ideę wykorzystania efektów synergicznych. Jest to naczelne przesłanie chemii budowlanej w praktyce.**

Nanotechnologia w budownictwie

W 2005 r. międzynarodowe grono 63 ekspertów na Uniwersytecie Toronto sklasyfikowało [6, 7] budownictwo na 8 pozycji beneficjentów rozwoju nanotechnologii. Należy się zasadnie spodziewać, że wdrożenie nanotechnologii

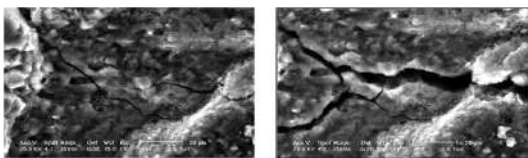


Rys. 10. Porównanie mikrostruktury (a) grafenów („kolebka” fulerenów) [10] i kratownicy (b) kopuły geodezyjnej (1450 belek stalowych utrzymuje 1000 trójkątnych płyt aluminiowych [11]; geometria kopuły (c)

do budownictwa odbędzie się poprzez materiały budowlane. W tym kontekście można zauważyć, że według H. Kroto, współtwórcy fulerenów i laureata Nagrody Nobla (1996 r.), *nanoscience and nanotechnology* to nowa nazwa chemii [8]. W nanotechnologii zaadresowanej do budownictwa można się dopatrzeć renesansu chemii budowlanej [2, 7, 9]. W samej nazwie odmian alotropowych węgla – fulereny – zostało zadokumentowane „powinowactwo ducha” między „mikrostrukturą materiału” a „makrokonstrukcją budowli” (rys. 9, 10). Fulereny otrzymały swoją nazwę w hołdzie R. Buckminsterowi Fullerowi, konstruktorowi kopuły geodezyjnej (Montreal, 1967). Obecnie w odniesieniu do technologii betonów cementowych możliwe są dalsze drogi rozwoju przez nanomodyfikację, a w odniesieniu do betonów polimerowo-cementowych przez nanomonitoring rozmieszczenia polimeru. Zważywszy, że wytrzymałość nonorurek na rozciągania-

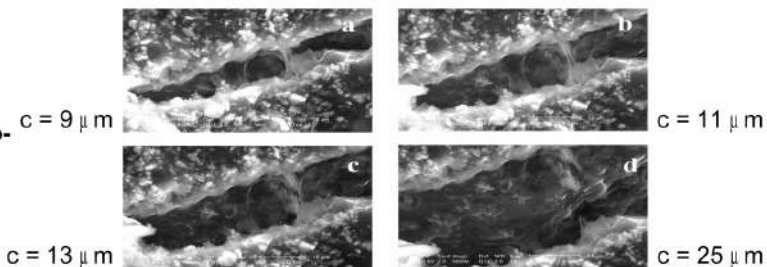
**Beton
cementowy**

$f_t = 2,5 \text{ MPa}$

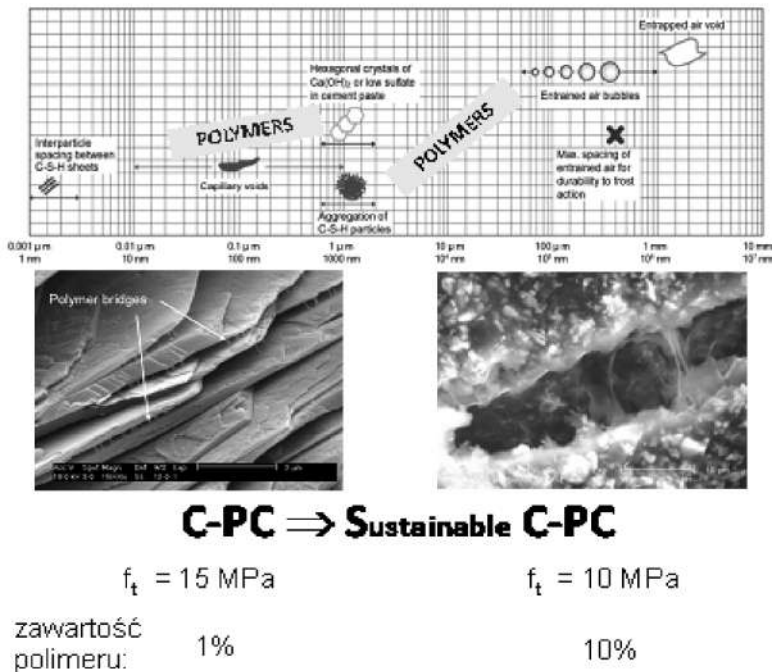


**Beton
polimerowo-
cementowy**

$f_t = 20 \text{ MPa}$



Rys. 11. Modyfikacja mikrostruktury betonu cementowego polimerem na poziomie mikrometrycznym (L. Czarnecki, H. Schorn [28]); c - szerokość rysy



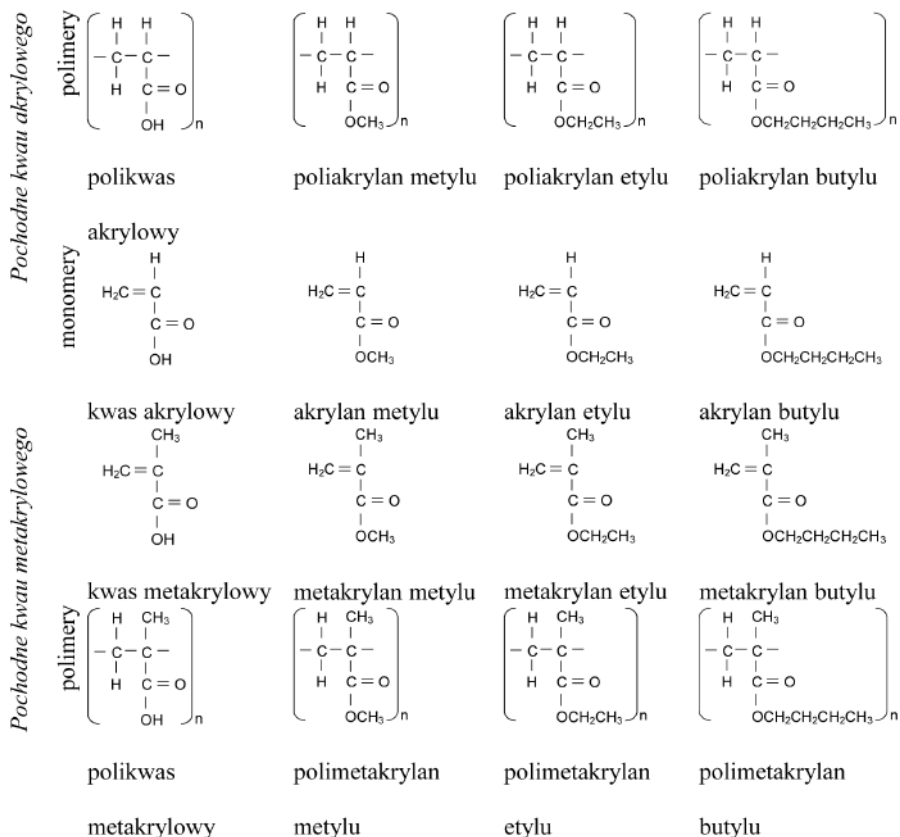
Rys. 12. Ilustracja przesunięcia modyfikacji polimerem z poziomu mikrometrycznego na poziom nano. Obrazek uznany za ikonę XIII Międzynarodowego Kongresu „Polymers in Concrete”, ICPIIC, 2010 (L. Czarnecki, D. Van Gemert): C-PC - Concrete-Polymer Composite

nie jest ok. 500 razy, a moduł sprężystości 20 razy większy od stali, już niewielka ilość nanomodyfikatora powinna się okazać bardzo efektywna.

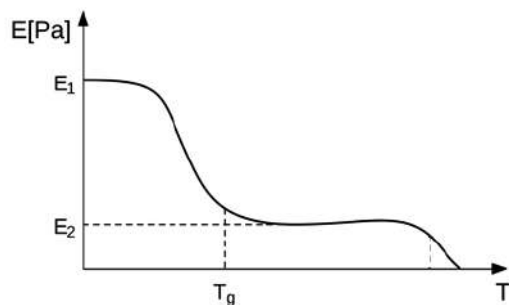
W polimerobetonach polimer jest najdroższym składnikiem, nadaje to szczególny sens nanomonitoringowi rozmieszczenia polimeru. Polimer wprowadzony w sposób tradycyjny do mieszanki betonowej mostkuje potencjalne rysy na poziomie mikrometrycznym (rys. 11). Wprowadzenie ok. 10% mas. polimeru w stosunku do cementu powoduje kilkakrotny wzrost wytrzymałości na rozciąganie [12]. Zastosowanie polimerów wodorozcieńczalnych [13, 14] powoduje przesunięcie interwencji technologicznej w obszar nano (rys. 12). Uzyskuje się wówczas mostkowanie heksagonalnych kryształów portlandytu; co daje wielokrotnienie efektu. W rezultacie dziesięciokrotnie mniejsza zawartość polimeru, pozwala uzyskać o 50% zwiększoną wytrzymałość na rozciąganie. Podobne efekty można uzyskać stosując polimery w postaci proszków redyspersyjnych [15].

Więcej chemii w budownictwie

W raporcie [16] Europejskiego Nanoforum pt. „*Nanotechnology and Construction*” jeden z wniosków traktuje o deficycie wiedzy z zakresu chemii materiałów budowlanych w wykształceniu inżynierów budownictwa. Ten deficyt ujawnia się jednakże nie tylko w sytuacjach tak awangardowych, jak wdrażanie nanotechnologii [17]. Oto jeden z przykładów; w technologii betonów używa się ogólnego pojęcia „betony akrylowo-cementowe”. Tymczasem do modyfikacji betonów stosowane są różne polimery kwasu akrylowego i metakrylowego (rys. 13) istotnie różniące się właściwościami (tab. 2), w tym temperaturą zeszczenia, która decyduje o zakresie stosowania wyrobu (rys. 14). W tym kontekście można przypomnieć, że 120 lat temu udział chemii budowlanej w procesie nauczania był większy niż obecne minima programowe. Oczywiście potrzebna wiedza



Rys. 13. Pochodne kwasów (monomery) akrylowego i metakrylowego i ich polimery ważne w technologii betonów akrylowych



Rys. 14. Moduł sprężystości polimeru termoplastycznego w funkcji temperatury;
 T_g - temperatura zeszklenia (por. tab. 2)

można i trzeba zdobywać również w inny sposób, np. na studiach i kursach podyplomowych [18]. Generalnie, trzeba życzyć „więcej chemii w budownictwie”, gdyż jest ona jednym z bardzo istotnych generatorów postępu

Tablica 2

Podstawowe właściwości polimerów akrylowych

Polimer	Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	Wydłużenie przy zerwaniu, %	Temperatura zeszklenia, °C
Polimetakrylan metylu	62	4	105
Polimetakrylan etylu	34,5	7	65
Polimetakrylan butylu	7	230	20
Poliakrylan metylu	7	750	6
Poliakrylan etylu	0,25	1800	-24
Poliakrylan butylu	0,025	2000	-55

Literatura

1. Taniewski M.: *Chemia jest nauką interdyscyplinarną i ma ogromne znaczenie w wielu dziedzinach*. Chemik 2010, **5**, 327-336.
2. Czarnecki L.: *Wyzwania inżynierii materiałów budowlanych*. Inżynieria i Budownictwo 2008, **7**, 404-408.
3. Czarnecki L., Kaproń M.: *Definiowanie zrównoważonego budownictwa*. Materiały Budowlane 2010, **1**, 69-71.
4. Skalmowski W.: *Chemia materiałów budowlanych*. Arkady. Warszawa 1971.
5. Czarnecki L., Broniewski T., Henning O.: *Chemia w budownictwie*. Arkady, Warszawa 1994.
6. Nanotechnology in construction – one of the top ten answers to world’s biggest problems. University of Toronto Joint Center for Bioethics 2005, (www.aggregateresearch.com).

7. Czarnecki L.: *Nanotechnologia – wyzwaniem inżynierii materiałów budowlanych*. Inżynieria i Budownictwo 2006, **9**, 465-469.
8. Kroto H.: *Science, Society and Sustainability*. Wykład wygłoszony w cyklu Konwersatorium Politechniki Warszawskiej 14 lipca 2010.
9. Czarnecki L.: *Chemia w praktyce budowlanej*. Materiały Budowlane 2010, **2**, 1-3.
10. Geim A.K., Novoselov K.S.: *The rise of graphene*. Manchester Centre for Mesoscience and Nanotechnology, University of Manchester 2007.
11. Hawkes N.: *Structures; the way things are built*. Macmillan, USA 1993.
12. Czarnecki L., Schorn H.: *Nanomonitoring of Polymer-Cement Concrete Microstructure*. Restoration of Buildings and Monuments 2007, **3**, 141-152.
13. Knapen E.: *Microstructure formation in cement mortars modified with water-soluble polymers*. Katholieke Universiteit Leuven 2007.
14. Czarnecki L.: *Czy nanotechnologia to przyszłość betonu?* Materiały Budowlane 2007, **11**, 4-5.
15. Kotwica Ł.: *Wpływ redyspergowalnych proszków polimerowych na proces hydratacji wybranych minerałów klinkierowych cementu*. Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2009.
16. European Nanotechnology Gateway – Nanoforum Report: Nanotechnology and Construction. nanoforum.org 2006.
17. Czarnecki L.: *Nanotechnologia w budownictwie*. LVI Konferencja KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 2010 (w druku).
18. Czarnecki L., Wierzbicki S.: *Postulowany system kształcenia kadr technicznych po wyższych studiach dla budownictwa*. Przegląd Budowlany 2010, **3**, 8-15.

BIOTECHNOLOGIA: DR JEKYLL CZY MR HYDE?

KAFARSKI Paweł

Biotechnologia jest dyscypliną nauki rozwijająca się niezwykle intensywnie, ale też budzącą wiele emocji i stwarzająca nowe problemy moralne i etyczne. Czy są to problemy rzeczywiste, czy też wymaginowane i wyolbrzymione? W poniższym artykule przedstawiono różne oblicza biotechnologii i pokazano jak skomplikowaną jest obiektywna ocena jej osiągnięć i zamierzeń.

Słowa kluczowe: kolory biotechnologii, organizmy modyfikowane genetycznie, etyczna ocena biotechnologii



BIOTECHNOLOGY: DR JEKYLL OR MR HYDE?

KAFARSKI Paweł

Biotechnology is considered as a intensively developing discipline of science. On the other hand it creates new molar and ethical problems. Are these problems real or imaginary and exaggerated? In this report various faces of biotechnology are presented and indication given how difficult objective evaluation its achievements and intentions.

Keywords: colours of biotechnology, genetically modified organisms, ethical evaluation of biotechnology

BIOTECHNOLOGIA: DR JEKYLL CZY MR HYDE?

Paweł KAFARSKI – Zakład Chemii Bioorganicznej, Wydział Chemiczny,
Politechnika Wroclawska, Wrocław

W 1886 r. szkocki pisarz Robert Louis Stevenson napisał słynną powieść zatytułowaną *Strange Case of Dr Jekyll and Mr Hyde*. Postać głównego bohatera tej książki stała się synonimem podwójnej osobowości, a także stwierdzeniem tego, że każda działalność człowieka ma dobre i złe strony. W literaturze i na stronach internetowych zastosowano ten termin jako skrót myślowy do określenia osobowości polityków, aktorów, radnych, a nawet do opisu postępowania całej drużyny piłkarskiej.

Biotechnologia jest uważana za jedną z tych dziedzin, która będzie decydować o prawidłowym rozwoju gospodarki w naszym wieku. Jest ona niezwykle rozległym obszarem działalności technicznej człowieka, i jej rozwój jest zależny od współdziałania między różnymi dziedzinami nauki i techniki. Potężną rolę w rozwoju biotechnologii odgrywa chemia. Biotechnologia postrzegana jest z jednej strony jako ważne narzędzie do ulepszenia naszego życia, a z drugiej – budzi strach przed jej nieprzewidywalnym zastosowaniem w kreowaniu nowej rzeczywistości. Jest ona więc takim Dr Jekyll i panem Hyde współczesnej nauki.

Termin *biotechnologia* pochodzi od trzech greckich słów: *bios* – **życie**, *technos* – **technika** i *logos* – **myślenie**. Jednak, już na samym początku termin *biotechnologia* budził kontrowersje. Wynikało to z faktu, że nie potrafiąco uzgodnić jednolitej definicji tej dziedziny nauki i techniki. Dobrze pokazuje to definicja opracowana na potrzeby Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Ministerstwa Gospodarki dla celów badawczych i rozwojowych. Jest ona dwuczęściowa i pierwsza część brzmi: *Biotechnologia, to interdyscyplinarna dziedzina nauki i techniki zajmująca się zmianą materii żywej i nieożywionej poprzez wykorzystanie organizmów żywych, ich części, bądź pochodzących od nich produktów, a także modeli procesów biologicznych w celu tworzenia wiedzy, dóbr i usług* [1]. Druga część jest opisowa i stanowi ją lista technik (głównie technik inżynierii genetycznej) wykorzystywanych w badaniach. A więc, z jednej strony nacisk położony jest na użyteczną stronę tej dziedziny, a z drugiej – na używane metodologie. Definicja ta stanowi próbę odróżnienia biotechnologii, od klasycznych technik hodowli i krzyżowania gatunków, czy od chemii spożywczej. Wydaje się,

że dobrą definicją jest ta przyjęta przez ONZ: *Biotechnology - any technological application that uses biological systems, living organisms, or derivatives thereof, to make or modify products or processes for specific use*. Jeszcze prostszą jest ta, której używa polska wersja Wikipedii: *Biotechnologia to dyscyplina nauk technicznych wykorzystująca procesy biologiczne na skalę przemysłową* [2]. Wykorzystanie tej ostatniej powoduje, że trzeba przyjąć do wiadomości, że jest ona stosowana od wieków, na przykład do produkcji piwa, serów, kosmetyków itp. Co ciekawe, Unia Europejska wcale nie definiuje biotechnologii, wychodząc z założenia, że jest to termin intuicyjnie zrozumiały.

Od zarania dziejów działalność biotechnologiczna człowieka była związana z produkcją i przygotowaniem żywności. Dzisiaj dziedzinę tę nazywamy *zieloną biotechnologią* („kolorowy” podział biotechnologii wprowadziła Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju przy udziale Unii Europejskiej). Jest ona uważana za kolejny etap *zielonej rewolucji*, która okazała się przełomem w rolnictwie i uratowała życie setek milionów ludzi. Ma ona na celu zapewnienie zaspokojenia potrzeb żywnościowych przyrastającej populacji mieszkańców Ziemi w sposób bardziej przyjazny dla środowiska naturalnego i bezpieczny dla zdrowia ludzkiego. Cel ten osiąga się przez zastosowanie trzech podstawowych technik. Pierwszą z nich są hodowle *in vitro* (laboratoryjne) komórek roślinnych, pozwalające na reprodukcję całych roślin lub ich organelli, co ma pozwolić na utrzymanie jednorodności genetycznej roślin i przyspieszenie procesów ich hodowli. Techniki te stosuje się dzisiaj powszechnie w hodowli kwiatów, kiedy chcemy, by zakwitły w określonym dniu.

Druga technika budzi najczęściej dyskusji i obaw – jest to zastosowanie inżynierii genetycznej w celu otrzymania roślin (i w mniejszym zakresie zwierząt) posiadających pożądane cechy (GMO – *Genetically Modified Organisms*). I tak, ulepszony organizm zachowuje swoje właściwości i zyskuje dodatkową cechę o dużym znaczeniu z punktu widzenia ekonomii, zdrowia lub ochrony środowiska. Modyfikowane genetycznie są głównie rośliny mające duże znaczenie gospodarcze, zmiana genomu ma na celu nadanie im pożądanych przez człowieka cech, takich jak: większa trwałość, odporność na choroby, pasożyty, czy herbicydy (co pozwala na bezpieczne zwalczanie chwastów w ich uprawach), odporność na stres abiotyczny (np. mróz, zasolenie) czy podniesienie ich cech jakościowych (przykładem może tu być zmodyfikowany ryż – *Golden Rice* – o zwiększonej zawartości prowitaminy A, mogący pomóc w walce ze ślepotą dzieci w Azji, wynikającą z jej niedoboru). Modyfikuje się także rośliny ozdobne, które dzięki temu są trwalsze lub mają intensywniejszy kolor. Warto wiedzieć,

że zmodyfikowana genetycznie została większość roślin mających znaczenie dla człowieka. Na świecie najczęściej modyfikowanymi roślinami są: kukurydza, pomidory, soja zwyczajna, ziemniaki, bawełna, melony i tytoń. W Europie najczęściej modyfikuje się: kukurydzę, rzepak, buraki cukrowe i ziemniaki. W przeważającej mierze, bo aż w 80%, rośliny te posiadają gen lub geny odporności na działanie herbicydów; 12% roślin genetycznie modyfikowanych posiada sztucznie wprowadzony gen odporności na gasienice *Lepidoptera*, o symbolu Bt (produkują toksyczne dla tych owadów białko z bakterii *Bacillus thuringiensis*). Ostatnie 8% roślin GMO jednocześnie jest odporna na herbicydy i zawiera gen Bt. Rozwój zielonej biotechnologii właśnie w takim kierunku, gwarantuje zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska poprzez zmniejszenie stosowania środków ochrony roślin.

Silny ruch przeciwników stosowania inżynierii genetycznej w rolnictwie domaga się jednoznacznych przepisów dotyczących znakowania produktów spożywczych zawierających GMO i ich pochodne, a ponadto wprowadzenia oznaczeń gwarantujących, że dany produkt powstał bez wykorzystania wspomnianej technologii. Jednocześnie uważają oni, że *wbrew stanowisku zwolenników GMO, „tworzenie” tych organizmów nie ma nic wspólnego z selekcją prowadzoną przez hodowców siłami natury. Jest to eksperyment ewolucyjny o nieznanym konsekwencjach* [3]. Jest to bardzo silny ruch społeczny stosujący często emocjonalne argumenty.

Zwolennicy GMO argumentują, że rolnictwo w swojej istocie jest aktywnością w świadomy sposób ograniczającą bioróżnorodność i stosującą żmudne metody modyfikacji genetycznej organizmów w celu selekcji roślin o takich samych właściwościach jak te otrzymywane szybko metodami inżynierii genetycznej. Co więcej, proces trans genyzy nie wiąże się z innym rodzajem ryzyka niż to związane z tradycyjnymi metodami tworzenia zmienności genetycznej (oddalone krzyżowanie, mutageneza) [4].

Nie sposób nie zgodzić się z poglądem, prezentowanym przez Unię Europejską, która przyjęła regulacje opierające się na dwóch fundamentalnych zasadach. Pierwszą z nich jest zasada przezorności, która nakazuje stosowanie środków obliczonych na zapobieganie efektom niepożądanym. Drugą jest zasada *case-by-case*, nakazująca, by każdy przypadek GMO traktować indywidualnie. Zgodnie z nią nieuprawnione są twierdzenia o bezpieczeństwie lub niebezpieczeństwie wykorzystywania GMO w ogóle. Dobrym przykładem jest tu budząca ostatnio silne emocje sprawa akceptacji genetycznie modyfikowanych łososi. Szybko rosnąca i wymagająca mniej pożywienia (a więc łatwiejsza do hodowli)

odmiana nie uzyskała akceptacji w USA, podczas gdy społeczeństwo Irlandii przychylnym okiem spogląda na prace prowadzące do otrzymania genetycznie modyfikowanego łososia, odpornego na choroby pasożytnicze. Ważne jest bowiem, jakie cechy ma wprowadzić genetyczna modyfikacja i czy są to cechy istotne dla konsumenta.

Znacznie mniej kontrowersji budzi produkcja roślin zmodyfikowanych genetycznie, które funkcjonują jako biofabryki wytwarzające konkretne substancje wykorzystywane w różnych gałęziach gospodarki. Rośliny, u których genetycznie zmodyfikowano szlak syntezy kwasów tłuszczowych, znajdują zastosowanie w produkcji olejów przemysłowych oraz biopaliw. Modyfikowane rośliny mogą także produkować łatwo degradowalne biopolimery [5]. Natomiast pełną akceptacją cieszą się takie modyfikacje, jak wymyślona w Instytucie Chemii Bioorganicznej PAN w Poznaniu sałata, która produkuje szczepionkę na zapalenie wątroby typu B (będzie się można szczepić przeciw żółtacze jedząc sałatę) [6].

Znacznie mniej poznana jest trzecia technika zielonej biotechnologii, to jest hodowla z wykorzystaniem markerów molekularnych – połączenie tradycyjnej hodowli selekcyjnej z inżynierią genetyczną, gdzie markery molekularne stanowią „kawalki” DNA, przyłączane do genu warunkującego pożądaną cechę, którą hodowca chce uzyskać w wyniku krzyżowania i selekcji nowej odmiany.

Bardziej rozwiniętą i budzącą mniej emocji jest *czerwona biotechnologia*. Jest ona skierowana na potrzeby służby zdrowia. Blisko 85% firm biotechnologicznych działa na tej niwie. Lecznicze preparaty biotechnologiczne stanowią obecnie ok. 20% sprzedawanych leków i ok. 50% będących na etapie badań klinicznych. Oczywistym krokiem naprzód, w stosunku do fermentacyjnych metod otrzymywania niektórych leków, jest to, że obecnie większość biofarmaceutyków jest wytwarzana za pomocą rekombinowanych bakterii (głównie *Escherichia coli*), czy drożdży (głównie drożdże piekarskie – *Saccharomyces cerevisiae*). Rekombinowane są również linie komórkowe organizmów wyższych oraz tworzone hybrydowe kultury międzygatunkowe, jak ma to miejsce w przypadku przeciwciał monoklonalnych, które są hybrydą limfocytu B i komórek szpiczaka, gwarantującego hybrydzie nieśmiertelność. W ten sposób otrzymuje się takie grupy leków, jak: interferony, interleukiny, hematopoetyczne czynniki wzrostu, czynniki martwicy nowotworów, preparaty trombolityczne, czynniki krzepnięcia krwi, rekombinowane hormony, czy wspomniane już przeciwciała monoklonalne.

Rekombinowane leki nie budzą takich emocji jak genetycznie modyfikowane rośliny dlatego, że społeczeństwo jest w stanie ponieść większe ryzyko, gdy cho-

dzi o sposoby leczenia. Leki te są bowiem tańsze niż uzyskiwane ze źródeł naturalnych i nie niosą ze sobą niebezpieczeństwa zarażenia chorego zapaleniem wątroby typu B, HIV, czy też chorobą Creutzfelda-Jakoba. Są zatem bezpieczniejsze. Dzięki tak wyprodukowanym lekom, można dziś z powodzeniem leczyć lub zapobiegać cukrzycy, udarowi mózgu, zastoinowej niewydolności serca, zapaleniu wątroby, anemii, astmie, chorobie Crohna, białaczce i wielu rodzajom chorób nowotworowych. Za rodzimy przykład rekombinowanego białka niech posłuży *Gensulina* firmy *Bioton*. Obok *Biotonu* tylko trzy firmy – amerykański *Eli Lilly*, duński *Novo Nordisk* oraz francuski *Aventis* (dawniej *Hoechst*) – produkują rekombinowaną ludzką insulinę.

Przyszłością *czerwonej biotechnologii* jest terapia genowa. Polega ona na wprowadzaniu do komórek chorego, najczęściej za pomocą odpowiednio modyfikowanego wirusa, obcego DNA lub RNA w celu zmuszenia komórki do produkcji białka kodowanego przez wprowadzony gen. Mimo tego, że technika ta stosowana jest klinicznie od lat 80. XX w. znany jest zaledwie jeden spektakularny sukces tego sposobu leczenia. W 1990 r. w Narodowym Instytucie Rakowym w USA poddano takiemu leczeniu trzyletnią dziewczynkę, której organizm nie produkuje enzymu – deaminazy adenozy. Ta choroba dotyka jedno dziecko na 100 000 i powoduje zanik odporności immunologicznej. Leczenie polegało na tym, że od chorej pobierano krew, białe krwinki infekowano wirusem zawierającym ten gen, a następnie komórki te wprowadzano do organizmu chorej. Chora żyje do dziś, ale ciągle wymaga leczenia – dziś leczona jest samym enzymem, chronionym przez związek z nim glikol polietylenowy.

Spektakularnym osiągnięciem biotechnologii, a właściwie nanobiotechnologii, jest opracowanie na Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles prototypu sztucznej nerki, którą można implantować w organizmie chorego. Jest to dość złożony układ, którego bazą są umieszczone w układach membranowych żywe, zdrowe komórki nerki, obce dla pacjenta. Zastosowanie takiego sztucznego narządu ma wyeliminować konieczność dializowania chorych.

Trzecim, również przyszłościowym, nurtem czerwonej biotechnologii jest diagnostyka molekularna. Dzisiaj najbardziej rozwinięte są techniki analizy materiału genetycznego w celu identyfikacji określonych typów nowotworów, w wykrywaniu chorób zakaźnych, w badaniach zgodności tkankowej w przypadku doboru dawców i biorców przeszczepów, czy w identyfikacji przestępców lub ustalaniu ojcostwa. Głównym przedmiotem badań jest wykrywanie zmiany w obrębie materiału genetycznego osoby chorej, w przypadku kiedy chorobę cechuje występowanie zmienionych pod wpływem mutacji fragmentów DNA lub

wykrywania materiału genetycznego patogenu. Takim materiałem może być genom mikroorganizmu wywołującego chorobę. Inne szeroko stosowane, to metody immunochemiczne wykorzystujące reakcje antygen – przeciwciało.

Przyszłością *czerwonej biotechnologii* są chipy diagnostyczne pozwalające na kontrolę stanu zdrowia w domu, tak jak dzisiaj bada się poziom glukozy we krwi. Dla przeciętnego pacjenta testy pozwalające na samokontrolę zdrowia mają dzisiaj niewielkie znaczenie, ponieważ ich dostępność jest jeszcze stosunkowo ograniczona. Masowa produkcja takich urządzeń, jak biochipy molekularne, jest już bliska, na co wskazuje fakt, że corocznie wprowadza się na rynek kilkaset prototypów takich urządzeń. Dobrym przykładem jest tu „Serum Biomarker Chip” firmy *Whatman, Schleicher & Schuell®*, który pozwala na identyfikację kilku lub kilkunastu specyficznych markerów konkretnych chorób w surowicy krwi ludzkiej. Chip jest przeznaczony do definicji grup ryzyka i monitoringu wybranych stanów chorobowych [7].

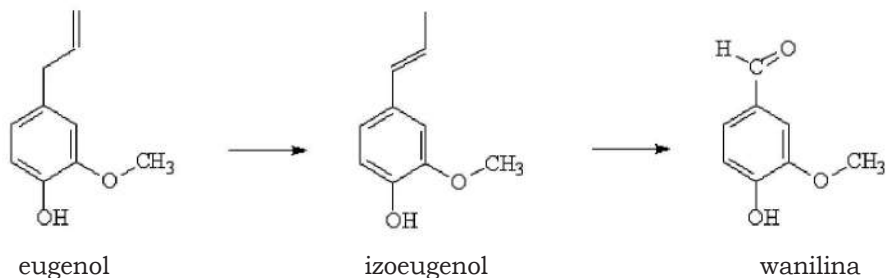
Trzecim kolorem biotechnologii jest kolor biały. Ten kolor przypisano biotechnologii przemysłowej [4]. Jej celem jest m.in. zastąpienie konwencjonalnych procesów chemicznych procesami wykorzystującymi enzymy i mikroorganizmy jako katalizatory. W ten sposób można uzyskiwać zróżnicowane produkty: specyficzne chemikalia, chiralne prekursory farmaceutyków, antybiotyki, witaminy, składniki żywności i pasz, środki zapachowe i smakowe, słodziki, kosmetyki, detergenty, materiały użytkowe, środki spożywcze oraz biopaliwa. Biotechnologia przemysłowa daje istotne korzyści ekologiczne: nie powoduje wzrostu efektu cieplarnianego i opiera się głównie na wykorzystaniu odnawialnych surowców. Przemysłowe procesy wykorzystujące biokatalizatory zostały uznane przez *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD) za istotny komponent tzw. strategii zrównoważonego rozwoju.

Biokataliza staje się powoli standardową technologią produkcji związków organicznych, i jej zastosowanie systematycznie rośnie. Może to obrazować fakt, że w 1960 r. zbudowano zaledwie 5 biokatalizacyjnych instalacji przemysłowych o produktywności powyżej 100 kg/rok, podczas gdy w 1990 r. liczba nowych procesów tego typu wyniosła nieco ponad 60, a w 2002 r. wprowadzono do przemysłu aż 134 procesy produkcji związków organicznych. Analiza tych procesów pokazuje, że enzymy stosuje się głównie do otrzymywania związków naturalnych lub ich analogów. Odbiorcą największej liczby substancji otrzymywanych w procesach katalizowanych enzymatycznie jest przemysł farmaceutyczny, a wśród pozostałych gałęzi przemysłu dominuje przemysł spożywczy. Nie jest to zaskakujące, jeśli zważyć wielkość produkcji obu tych przemysłów.

Gdyby analizować nie liczbę substancji odbieranych przez działy gospodarki, lecz wielkość produkcji, to samotnym liderem staje się przemysł spożywczy. Na przykład, prawie wszystkie substancje organiczne produkowane na skalę masową (więcej niż 20 tys. t/r), to węglowodany wykorzystywane przez ten przemysł. Większość procesów przemysłowych, w których używa się enzymów, to procesy niskotonażowe. Tym niemniej, zastosowanie enzymów w procesach wielkotonażowych też nie jest rzadkością. Największym z nich jest konwersja glukozy we fruktozę, katalizowana przez izomerazę glukozową podczas produkcji syropu glukozowo-fruktozowego ze skrobi. W procesie tym otrzymuje się ponad 1mln t fruktozy rocznie. Innym przykładem jest użycie β -galaktozydazy do hydrolizy laktozy do glukozy i galaktozy w procesie otrzymywania niskolaktozowego mleka. W ten sposób przerabia się ok. 250 tys. l mleka dziennie. Trzecim procesem tego typu jest produkcja akrylamidu z akrylonitrylu za pomocą hydratazy nitylowej, która w zakładach Mitsubishi Rayon jest prowadzona w skali 30 tys. t rocznie.

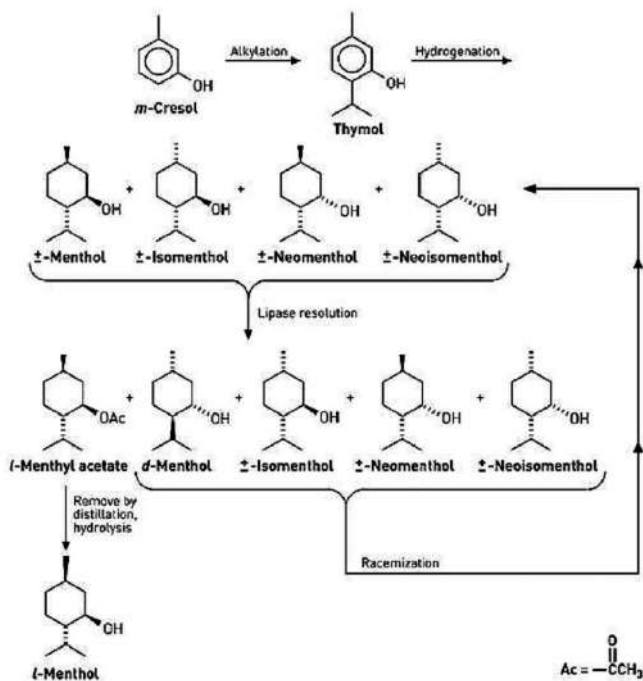
Biała biotechnologia powszechnie stosuje organizmy modyfikowane genetycznie. Dobrym przykładem jest tutaj produkcja waniliny odpowiedzialnej za charakterystyczny zapach wanilii. O roli tego aromatu świadczy fakt, że w 2007 r. prof. Mayu Yamamoto otrzymał Nagrodę IgNobla za opracowanie metody izolacji waniliny z kawy krowiego.

Kilogram tej substancji izolowanej z lasek wanilii kosztuje do 3 tys. USD, podczas gdy kilogram waniliny wyprodukowanej chemicznie z gwajakolu kosztuje zaledwie 15 USD. Organizacje konsumenckie oraz proekologiczne są przeciwnie stosowaniu chemicznie wytwarzanych dodatków do żywności. Zatem wanilinę produkuje się też metodami biotechnologicznymi, często używając w tym celu komórek mikroorganizmów modyfikowanych genetycznie (głównie w celu zablokowania procesu przekształcania waniliny w kwas wanilinowy). Jako substratów używa się tu eugenolu (główny składnik olejku z goździków) lub kwasu



Rys. 1. Schemat mikrobiologicznej produkcji waniliny

ferulowego (produkt odpadowy w przemyśle papierniczym). Tak wyprodukowany związek nazywa się *aromatem identycznym z naturalnym* zakładając, że jest on niemal naturalny, a tym samym lepszy niż produkowany chemicznie. Nieco inaczej produkuje się mentol, gdyż pierwsze etapy jego otrzymywania, to dwie proste reakcje chemiczne – alkilowanie toluenu i redukcja otrzymanego tymolu. Powstaje wszystkie osiem stereoizomerów mentolu. Z tej mieszaniny tylko mentol jest acylowany za pomocą odpowiednio dobranej lipazy i zostaje oddzielony od pozostałych izomerów. Te poddaje się racemizacji i w mieszaninie znów pojawia się mentol, który wydzielany jest w postaci octanu za pomocą reakcji enzymatycznej. Tak uzyskany mentol jest zaliczany do aromatów identycznych z naturalnym, ponieważ powstał na drodze biotransformacji.



Rys. 2. Chemoenzymatyczna produkcja mentolu

Nie ma żadnej różnicy między związkiem otrzymanym na drodze chemicznej, a takim samym związkiem otrzymanym w procesie biokatalitycznym. Jednak konsumentowi, słowo *chemia* kojarzy się źle, a słowo *naturalny* – dobrze.

Biotechnologiczne remediacja i ochrona środowiska zaliczane są czasami do *białej biotechnologii*, a czasami tworzy się dla nich odrębną kategorię *szarej*

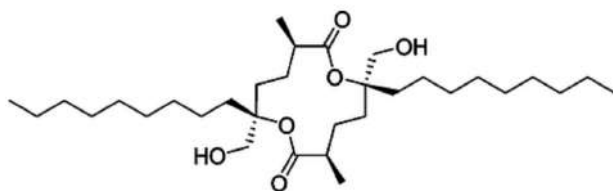
biotechnologii. W tym przypadku procesy biotechnologiczne stosowane są jako wspomagające oczyszczanie gleby, ścieków, spalin i wyliwów, a także używane są do utylizacji odpadów. Przykładem może tu być bioremediacja gruntów i wód podziemnych skażonych ropopochodnymi. W Polsce problem ten dotyczy szczególnie terenów, na których stacjonowała kiedyś Armia Czerwona. Procesy te można stymulować poprzez dodawanie do miejsc zanieczyszczonych odpowiednich pożywek, wzmacniających mikroorganizmy obecne w glebie i wodzie, a zdolne do rozkładu ropopochodnych (tak zwane organizmy autochtoniczne), lub poprzez napowietrzanie terenu poddanego bioremediacji, co powoduje zwiększenie szybkości wzrostu tych mikroorganizmów. Można też suplementować glebę specjalnie wyselekcjonowanymi bakteriami lub grzybami, dobranymi tak, aby efektywnie degradowały określony typ zanieczyszczeń. Tutaj stosuje się niekiedy bakterie modyfikowane genetycznie. Bioremediacja ma tę szczególną zaletę, że stosowana jest na miejscu skażenia i nie wymaga używania szczególnie skomplikowanych urządzeń. Co więcej, takie metody oczyszczania gruntów cieszą się całkowitą aprobatą społeczną [9].

Ważnym zagadnieniem jest również poznanie molekularnych mechanizmów degradacji zanieczyszczeń tak, aby można było projektować nowe technologie oczyszczania odpadów przemysłowych i komunalnych, modyfikowane genetycznie organizmy zdolne degradować określone zanieczyszczenia, czy też wprowadzać nowe bezpieczniejsze dla środowiska materiały. Przykładem takich materiałów jest produkcja tak zwanych polimerów biorozpraszalnych. Standardowo stosowane tworzywa sztuczne charakteryzują się bardzo dużą odpornością na warunki środowiska. Wiedza o tym, że nie są one praktycznie degradowane spowodowała wprowadzenie do struktur tych polimerów materiałów łatwo degradowalnych, takich jak celuloza czy skrobia. Degradacja celulozy czy skrobi, pełniących najczęściej rolę wypełniacza w tych tworzywach, powoduje dyspersję trudno degradowanych składników w środowisku i zmniejsza istotnie ich niekorzystny wpływ na środowisko naturalne.

Poznanie molekularnych mechanizmów degradacji zanieczyszczeń, szczególnie tych trwałych, nie jest jednak sprawą prostą, gdyż jeden mikroorganizm nie jest zazwyczaj w stanie doprowadzić do ich całkowitej mineralizacji. Tak więc, są to zazwyczaj procesy, w których biorą udział konsorcja bakteryjne, a takie wspólne rozkładanie związku na mniejsze kawałki nazywamy ko-metabolizmem.

Niekiedy wyróżnia się również tak zwaną *niebieską biotechnologię*. Kładzie ona nacisk na techniczne wykorzystanie procesów i mikroorganizmów charak-

terystycznych dla mórz i oceanów. Wykorzystuje ona bioróżnorodność środowiska morskiego dla otrzymania nowych wyrobów. Warto wiedzieć, że ok. 80% żywych organizmów świata można spotkać w ekosystemach wodnych. Jej zadaniem jest też utrzymać i poprawić stan bogactwa tych zbiorników wodnych, bo od tego zależy w znacznej mierze cała działalność morska człowieka. Przed tą biotechnologią stają wielkie wyzwania, ponieważ znajduje się ona we wczesnej fazie rozwoju. Tym niemniej, z organizmów morskich wyizolowano już ponad 15 tys. substancji wykazujących różnorodną aktywność biologiczną, w tym wiele obiecujących antybiotyków. Te środki przeciwbakteryjne otrzymuje się nie tylko z bakterii, ale także z innych organizmów morskich [10]. Dimer antybakteryjnego malingolidu, wyizolowany ostatnio z morskiej cyjanobakterii *Lyngbya majuscula* jest dobrym przykładem możliwości, jakie oferuje biotechnologii ekosystem morski. Związek ten wykazuje znaczącą aktywność przeciw opornemu na inne leki szczepowi *Plasmosium falciparum*, pierwotniakowi powodującemu malarię.



Rys. 3. Dimer malingolidu

Listę kolorów biotechnologii zamyka kolor fioletowy. Obszarem jej działalności są związane z biotechnologią problemy społeczne, prawne, etyczne i filozoficzne. Jeśli firma, która opatentowała roślinę modyfikowaną genetycznie będzie starała się o zaakceptowanie jej jako produktu rynku europejskiego, wówczas dyskusja na temat tej rośliny będzie mieścić się w obszarze *fioletowej biotechnologii*. Dobrym przykładem jest tu próba wprowadzenia, w 2007 r. przez koncern BASF, na rynek europejski dwóch genetycznie modyfikowanych odmian ziemniaka: odmiany wysokoskrobiowej oraz odmiany odpornej na zarazę ziemniaczaną (zaraza ta w XIX w. spowodowała, że w Irlandii znaczna część społeczeństwa zmarła z głodu). Ta pierwsza nie uzyskała akceptacji Unii Europejskiej, choć nie jest odmianą jadalną (ziemniak paszowy), tę drugą zaakceptowano w Wielkiej Brytanii, a jest odmianą jadalną. Decyzja brytyjskiej agencji rządowej spotkała się z krytyką organizacji ekologicznych i konsumenckich.

Niektóre gremia proponują, aby do tej gamy kolorów dołożyć jeszcze: żółta

(biotechnologia żywienia i pasz), brązową (biotechnologia terenów suchych i pustynnych), złotą (biotechnologia informatyczna – biokomputery i biochipy) oraz ciemną (bioterroryzm i broń biologiczna) [11]. Warto zwrócić uwagę, że z kolorów tęczy, do wykorzystania zostają jeszcze pomarańczowy i indygo.

Kolorowy podział biotechnologii, mimo że użyteczny, nie jest jednoznaczny, bowiem pola ich działalności się wzajemnie przenikają. Do której biotechnologii zaliczyć zagadnienie patentowania (*biotechnologia fioletowa*) nowej szczepionki (*biotechnologia czerwona*) wytwarzanej przez genetycznie modyfikowaną roślinę (*biotechnologia zielona*)?

Badania wskazują, że 70% społeczeństwa polskiego jest przeciwna stosowaniu organizmów modyfikowanych genetycznie. Co za tym idzie, przeciwni GMO są także politycy, więc polskie prawodawstwo należy do najbardziej restrykcyjnych w tym względzie. Z drugiej strony, 90% ekspertów jest zdania, że trzeba stosować organizmy modyfikowane genetycznie [12]. Ta różnica zdań najprawdopodobniej wynika z faktu, że w ogólnym społecznym odczuciu modyfikacja genetyczna kojarzy się z manipulowaniem genomem roślinnym (nowe odmiany roślin) lub, co gorzej, z manipulowaniem genami ludzkimi (klonowanie, produkcja superżołnierzy). Eksperti wiedzą, że jest to o wiele szersze zagadnienie i w rzeczy samej aprobowane przez społeczeństwo, szczególnie gdy dotyczy problemów ochrony zdrowia. Zatem odpowiedź na pytanie, czy jest ona Dr Jekyll czy też panem Hyde, nie jest prosta, bo zależy od konkretnego przypadku. Jedno jest pewne – kraje, które zrezygnują z rozwoju biotechnologii, solidnie zapracują na swoje zapóźnienie cywilizacyjne.

Literatura

1. The Convention on Biological Diversity. United Nations – Treaty Series vol 1760, 29.12.1993.
2. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Biotechnologia>.
3. <http://www.icppc.pl/antygmo/>.
4. Anioł A., Bielecki S., Twardowski T.: *Genetycznie modyfikowane organizmy – szanse i zagrożenia dla Polski*. Nauka 2008, **1**, 63-84.
5. Anioł A., Zimny J.: *Zielona biotechnologia*. Panorama: Biotechnologia roślin 2008, **3**, 4-7.
6. Kapusta J., Modzelska A., Figlarowicz M., Pniewski T., Lettelier M., Lisowa O., Yusibov V., Koprowski H., Płocienniczak A., Legocki A. B.: *A plant derived edible vaccine against hepatitis B virus*. *FASEB J.* 1999, **13**, 1796-1799.
7. Songa J.M., Yang H., Kwan T.: *Development of a novel DNA chip based on a bipolar semiconductor microchip system*. *Biosensors & Bioelectronics* 2007, **22**, 1447-1453.

8. Dignum M. J. W., Kerlera J., Verpoorte R.: *Vanilla Production: technological, Chemical and Biosynthetic Aspects*. Food Reviews International 2001, **17**, 119-120.
9. Olszanowski A., Sozański M., Urbaniak A., Voelkel A.: *Remediacja i bioremediacja zanieczyszczonych wód i gruntów oraz wykorzystanie technik modelowania i informatycznych w inżynierii środowiska*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2001.
10. Laport M. S., Santos O. C. S., Muricy G.: *Marine sponge: ponential source of new antimicrobial drugs*. Curr. Pharmaceut. Biotechnol. 2009, **10**, 86-105.
11. Notka wydawnicza. *The colours of biotechnology: science, development and humankind*. Elecronic J. Biotechnol. 2005, **8**, 1-4.
12. Twardowski T.: *Różne kolory biotechnologii i biogospodarka*. Kosmos 2007, **56**, 221-226.

CHEMIA I FARMACJA BLIŻEJ NATURY, CZYLI JAK PRZEDŁUŻYĆ ŻYCIE W ZDROWIU

WAWER Iwona

Nowoczesna medycyna (personalna, żywieniowa) coraz bardziej zwraca uwagę na profilaktykę, na człowieka w środowisku, jego sposób życia i dietę. Zadaniem nauki jest troska o racjonalne wykorzystanie naturalnych zasobów. W świecie roślin znajdujemy mnóstwo związków cennych dla zdrowia, o właściwościach antyoksydacyjnych, są one nie tylko w roślinach leczniczych, ale też w jadalnych. Przemysł farmaceutyczny interesuje się związkami polifenolowymi, takimi jak flawonoidy czy kwasy hydroksycynamonowe. Mogą one stanowić wyjściowe struktury dla nowych leków przeciwzapalnych przeciwwirusowych, przeciwbakteryjnych czy przeciwnowotworowych. W artykule scharakteryzowano właściwości i potencjalne zastosowania takich związków, jak: resweratrol, kurkumina, oligomer proantocyjanidyny, galusan epigalokatechiny, kwas rozmarynowy i chlorogenowy, betainy i antocyjaniny, zachęcając do opracowania metod syntezy i poszukiwania bioaktywnych pochodnych.

Słowa kluczowe: polifenole, flawonoidy, antyoksydanty, potencjalne leki



CHEMISTRY AND PHARMACY CLOSER TO NATURE. HOW TO PROLONG HEALTHY LIFE WITH NATURAL COMPOUNDS?

WAWER Iwona

Modern medicine (especially personalised and nutritional approach) focuses more attention on the diet, life style and the environment. Scientists have to examine more closely what we are eating, how diseases can be treated more rationally, and how we can more effectively use our natural resources. The pharmaceutical industry is searching for new medical plants, the functional compounds of which can serve as a starting point for the development of new drugs. Health-beneficial and life-prolonging effects of polyphenols are accompanied by the stimulation of various maintenance mechanisms, including protection against free-radical and oxidation-induced damage. These natural compounds are promising anti-inflammatory, antiviral, antibacterial and anticancer agents. The representatives of polyphenols: resveratrol, epigallocatechin-gallate, curcumin, proanthocyanidin, chlorogenic acid and rosemarinic acid, betalain, anthocyanins are characterised as potential candidates for drugs. This review provides some information and serves to encourage work (chemical synthesis) in the field of flavonoids.

Keywords: polyphenols, flavonoids, antioxidants, drug development

CHEMIA I FARMACJA BLIŻEJ NATURY, CZYLI JAK PRZEDŁUŻYĆ ŻYCIE W ZDROWIU

Iwona WAWER – Wydział Farmaceutyczny Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, Zakład Chemii Fizycznej, Warszawa

Chemia na straży naturalnych zasobów i czystego środowiska

Chemia XX w. dała nam antybiotyki i środki konserwujące – oręż w walce z infekcjami. Dzięki nawozom sztucznym, pestycydom i herbicydom oddaliło się widmo głodu, dzięki chemii spożywczej półki supermarketów uginają się pod setkami produktów doskonale zakonserwowanych i opakowanych. Jednak w XXI w. coraz wyraźniej widać, że z niektórych dróg musimy zawrócić, bo nadmierna chemizacja żywności i otoczenia może nas zniszczyć. Wszystkie wielkie cywilizacje przeżywały okres świetności, a potem upadały, bo wyczerpywały się zasoby środowiska. Czy naszą czeka to samo? Problem w tym, że nasza ma charakter globalny. Nie ma dokąd odejść, aby zacząć od nowa. Musimy po sobie sprzątać i nie eksploatować natury w sposób rabunkowy. Mamy jednak przewagę nad przodkami: to nauka i technika. Chemia musi monitorować procesy w środowisku oraz znacznie lepiej wykorzystywać naturalne zasoby. Wiedząc, że plastikowe butelki i torby będą się rozkładać przez setki lat – rozwijamy produkcję polimerów biodegradowalnych. Mamy do dyspozycji czułe metody analityczne – wiemy, których mikroskładników brakuje w glebie i żywności, a które są w nadmiarze, co odbija się na naszym zdrowiu.

Nowe opcje: medycyna personalna i żywieniowa

W Polsce rośnie spożycie leków, z czego cieszą się firmy farmaceutyczne. Jednak patrząc obiektywnie, nie ma powodów do radości. Jest to dowód słabej kondycji zdrowotnej społeczeństwa, a również nieracjonalnego sposobu leczenia. Medycyna zaczyna zauważać, że stosowanie większych ilości leków wcale nie leczy lepiej. Przeciętny senior bierze 4-6 różnych leków, których metabolizowanie obciąża jego wątrobę i nerki. Tymczasem, przyszłością medycyny nie jest łykanie coraz większej liczby tabletek ordynowanych przez gastrologa, kardiologa, neurologa, itp. Przyszłością jest profilaktyka, zwrócenie uwagi na człowieka w środowisku, na jego dietę i sposób życia. Koniecznością jest zintegrowanie opieki medycznej i rozwój opieki farmaceutycznej. Nowy para-

dygmat to medycyna personalna. W przyszłości, w razie choroby, dostaniemy niewielką dawkę substancji leczniczej, podaną selektywnie do chorego organu, „skrojona” specjalnie dla naszego organizmu i dopasowaną do naszych genów. Nadzieja medycyny to zamąby, terapeutyczne przeciwciała monoklonalne, których era dopiero się rozpoczyna [1]. Nowym podejściem jest też medycyna żywieniowa. Mimo ogromnych nakładów finansowych na opiekę zdrowotną, utrzymuje się wysoka śmiertelność z powodu chorób będących konsekwencją wieloletniej złej diety. Medycyna żywieniowa stosuje witaminy, minerały i inne bioaktywne składniki odżywcze zarówno w ilościach fizjologicznych, jak i farmakologicznych. Wykorzystuje aminokwasy, niezbędne kwasy tłuszczowe, probiotyki, błonnik pokarmowy. Wzrasta zainteresowanie metabolitami roślin, takimi jak związki polifenolowe (flawonoidy), karotenoidy, tokoferole, które są potrzebne zarówno jako składniki pożywienia jak i leki.

Tropem antyoksydantów

Życie to kontrolowany proces spalania. Z wdychanego tlenu w organizmie powstaje woda, ale w kolejnych etapach redukcji powstają też wolne rodniki i reaktywne formy tlenu, np. nadtlenek wodoru. Proces oddychania komórkowego kontrolują wprawdzie odpowiednie enzymy, ale część rodnikowych produktów „wymyka się spod kontroli” i powoduje uszkodzenia DNA, białek i lipidów. Wg „wolnorodnikowej teorii starzenia się”, właśnie te uszkodzone biomolekuły są przyczyną rozwoju chorób oraz starzenia się organizmu. Jak więc przedłużyć życie w zdrowiu? Unikać stresu oksydacyjnego, czyli sytuacji, w których w organizmie powstaje więcej rodników niż normalnie (tj. palenia papierosów, ekspozycji na ultrafiolet, stanów zapalnych), a także dostarczać antyoksydanty wraz z dietą. Przed utlenianiem i uszkodzeniem przez promieniowanie słoneczne bronią się też rośliny. Nie mogąc uciec w cień, musiały wytworzyć związki absorbujące ultrafiolet i likwidujące wolne rodniki. Zatem naszą szansą na zdrowe i długie życie jest skorzystanie z bogactwa antyoksydantów w świecie roślin. Przemysł farmaceutyczny poszukuje nowych roślin leczniczych, których związki aktywne mogą służyć jako punkt startowy do stworzenia optymalnych struktur nowych leków. Inspiracją może być tradycyjny sposób leczenia, lokalne ziołolecznictwo, a nawet praktyki szamana. Wybraną roślinę poddaje się szczegółowym testom. W czasie skaningowych procedur, pozwalających na sprawdzenie właściwości nawet kilku tysięcy próbek dziennie, często odkrywane są nowe związki lub interesujące właściwości już znanych. Wiele tradycyjnych zastosowań potwierdzili w ten sposób biochemicy z laboratoriów farmaceutycznych.

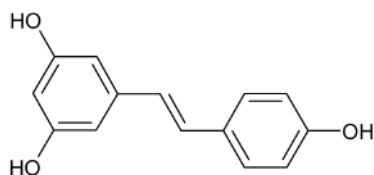
Warto przypomnieć, że większość aktualnie stosowanych leków pochodzi z surowców roślinnych: aspiryna z kory wierzby, morfina z maku, chinina z kory chinowca. Nie można oczywiście uzależniać produkcji leku od zbierania dziko rosnących roślin; można je uprawiać na plantacjach, ale i to jest ryzykowne. Należy więc opracować syntezę bioaktywnych związków. Jest to duże wyzwanie dla chemii. Wiele z nich ma centra chiralne, a synteza musi być stereoselektywna. Enancjomery mogą mieć różną aktywność biologiczną, a nawet dawać efekty toksyczne.

Co kryją szuflady w laboratoriach farmaceutycznych?

Resweratrol

Resweratrol jest fitoaleksyną; rośliny wytwarzają go w odpowiedzi na stres, skałeczenie, infekcję, silny UV. Nadaje odporność i działa grzybobójczo; większe jego ilości produkują rośliny z plantacji organicznych. Jest go 100-krotnie więcej w liściach winogron niż w owocach, znaleziono go też w czerwonym winie. Na południu Europy, gdzie pije się czerwone wino, odnotowuje się mniej zawałów serca, pomimo wysokiego spożycia tłuszczów. Efekt ten nazwano „francuskim paradoksem”, a wyniki badań opublikowane w 1993 r. były później szeroko komentowane. Uważano, że związki przyczyniające się do ochrony przed miażdżycą i chorobami serca, to resweratrol i antocyjaniny. Ilości resweratrolu w winogronach są bardzo małe i silnie zależą od klimatu, opadów, rocznika wina. Np. w kalifornijskim winie z 1989 r. było 0,09 mg/l resweratrolu, ale w winie z 1994 r. aż 8,9 mg/l. Bardzo duże różnice są też w zawartości innych związków polifenolowych, takich jak antocyjaniny czy taniny. Czerwone wino wybrane do eksperymentów *in vivo* musiało zawierać określoną ilość resweratrolu. Pierwsze oznaczenia pokazywały jednak, że po wypiciu tego wina, we krwi nie ma resweratrolu. W 1997 r. ukazała się praca [2] sugerująca, że gwiazda resweratrolu, jako związku o działaniu przeciwmiażdżycowym, gaśnie (*Resveratrol: a molecule whose time has come? And gone?*). Jednak później, po dokładniejszych oznaczeniach, znaleziono go w ilości 100 nM do 1 μ M. Czy takie małe stężenie może dawać efekty pro-zdrowotne? Przegląd badań pokazuje, że tak. Resweratrol działa korzystnie, uczestniczy w wielu biochemicznych mechanizmach związanych z funkcjonowaniem układu krążenia. Przeciwdziała agregacji płytek krwi w stężeniu 1 μ M, poprawia funkcję śródbłonnka naczyń, stymuluje enzym syntazę tlenku azotu (eNOS) i wydzielanie NO. Przedłuża życie (muchom i myszom). Duże nadzieje wiąże się z resweratrolem, jako potencjalnym lekiem przeciwnowotworowym [3]. Oksydacyjne uszkodzenia lipidów czy DNA,

to wspólny mechanizm zapoczątkowujący zarówno miażdżycę jak i zmiany nowotworowe. Intensywne badania prowadzone w ostatnich latach koncentrowały się nad wyjaśnieniem działania pro- i antyoksydacyjnego, a także cytotoksyczności i indukowania apoptozy.



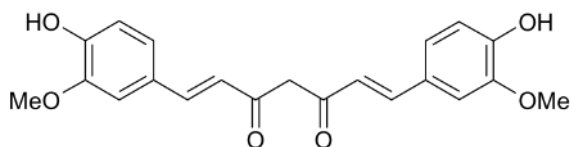
Rys. 1. Resweratrol

Wykonano syntezę pochodnych resweratrolu z różnie podstawionymi grupami OH (3,4,5-trihydroksy, 3,4,4'-trihydroksy, 4,4'-dihydroksy, 3,5-dihydroksy, 2,4-dihydroksy). Interesujące, że związki, które są efektywnymi antyoksydantami, stają się prooksydantami w obecności jonów Cu(II) i indukują uszkodzenia DNA. Najbardziej aktywne są pochodne orto-dihydroksy, które mogą tworzyć kompleksy typu chelatów. Fakt, że antyoksydant staje się prooksydantem nie musi być zagrożeniem dla organizmu. Wręcz przeciwnie, działanie prooksydacyjne jest istotne w niszczeniu nowotworu i indukowaniu apoptozy, a pochodne orto-dihydroksy okazały się silnie cytotoksyczne wobec komórek nowotworowych. Resweratrol indukuje apoptozę komórek raka wątroby, ale nie działa tak na normalne limfocyty we krwi. Jednak jak odróżniane są komórki „normalne” od „nowotworowych”? W normalnych komórkach o niskim stężeniu miedzi resweratrol i jego pochodne działają jako antyoksydanty, likwidują nadmiar rodników, co zmniejsza liczbę uszkodzeń DNA i ryzyko powstania raka. Natomiast komórki nowotworowe mają znacznie wyższy poziom miedzi niż normalne; łatwy transfer elektronów generuje wolne rodniki o silnych właściwościach utleniających. Powstaje stres oksydacyjny, który jest korzystny, bo niszczy komórkę nowotworową. Związki orto-dihydroksy, które wykazują większą aktywność przeciwnowotworową niż resweratrol, są interesujące jako wyjściowe struktury potencjalnych leków.

Kurkumina

Kurkuma (*curry*), to suszone, zmielone kłącze *Curcuma longa*. W krajach południowo-wschodniej Azji jest używana od ponad 4000 lat, a jej konsumpcję oszacowano na ok. 1,5 g dziennie na osobę. Ta żółta przyprawa ma olejki eteryczne oraz związki polifenolowe, kurkuminoidy, wśród których dominuje

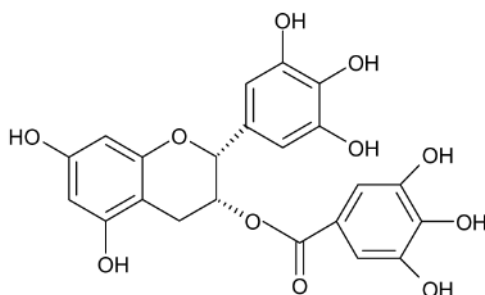
kurkumina. Kurkumina ma działanie immunomodulujące, przeciwzapalne, przeciwnowotworowe, a nawet przeciwdepresyjne. Niestety, słabo się wchłania do krwioobiegu, w organizmie jest obecna w ilościach rzędu nanogramów. Jej wchłanianie jest lepsze w obecności pieprzu lub ostrej papryki [4]. U zdrowych ochotników, którzy dostali po 2 g kurkuminy, jej stężenie w plazmie krwi było mniejsze niż 10 ng/ml. Jaki jest mechanizm działania przeciwzapalnego? Okazało się, że kurkumina hamuje aktywność cyklooksygenazy COX-2 [5, 6], wpływa na system enzymów cytochromu P-450 oraz enzymy fazy II (S-transferazy glutationowe, GST). Kurkumina jest związkiem modulującym aktywność komórek T, makrofagów, neutrofilów i ekspresję pro-zapalnych cytokin. Te właściwości kurkuminy mogą znaleźć praktyczne zastosowania. Jednak zanim powstanie lek przeciwzapalny przydatny w chorobach reumatoidalnych osobom, które mają problem z bolącymi stawami, można doradzić częste i obfite używanie kurkumy jako przyprawy. Można też mieć nadzieję, że kurkumina, lub jej pochodna z grupy kurkuminoidów, będzie lekiem przeciwnowotworowym. Kliniczne badania fazy I przeprowadzono w 2000 r. na Tajwanie [7], grupie pacjentów z różnymi nowotworami (skóry, pęcherza, żołądka) podawano kurkuminę, zaczynając od 0,5 g dziennie. Dawkę zwiększano do 8, a nawet 12 g bez objawów toksyczności. Kurkumina hamuje angiogenezę, czyli powstawanie naczyń krwionośnych odżywiających nowotwór, a mechanizm jej działania [8] okazał się dość złożony. W modelowaniu molekularnym cząsteczki kurkuminy [9] problemem jest ustalenie, która struktura jest prawdopodobna jako ligand wiążący się z receptorami (np. COX-2). Oprócz pokazanej na schemacie konformacji *cis*-keto, możliwe i korzystniejsze energetycznie jest położenie *trans* obu grup C=O, choć uniemożliwia to powstawanie formy enolowej. Forma enolowa daje możliwość delokalizacji elektronów pomiędzy obydwojma pierścieniami aromatycznymi, stabilizując powstające rodniki fenoksyłowe. Wzrost aktywności antyoksydacyjnej można osiągnąć syntetyzując pochodną bez grupy metylowej, ale związek z dwoma grupami OH staje się bardziej wrażliwy na autooksydację.



Rys. 2. Kurkumina

Galusan epigalokatechiny

Tradycja picia zielonej herbaty sięga 5000 lat, o czym świadczą chińskie legendy i dokumenty. Popularność herbaty związana jest z zawartością kofeiny; napój odświeża umysł, przynosi poprawę samopoczucia. Jednak medycyna bardziej interesuje się związkami polifenolowymi herbaty; jedna filiżanka herbaty zawiera ich 50-100 mg. Ich ilość i skład chemiczny zależą od rodzaju herbaty, technologii jej produkcji oraz sposobu zaparzania. Wśród związków polifenolowych zielonej herbaty dominuje (60%) galusan epigalokatechiny (EGCG), ale są też: galusan epikatechiny, epigalokatechina, epikatechina i katechina. Polifenole herbaty działają przeciwwirusowo. Najbardziej aktywny w hamowaniu replikacji wirusów grypy okazał się galusan epigalokatechiny, ale jego aktywność zależała od typu wirusa. W 2007 r. opublikowano [10] badania aktywności polifenoli herbaty w stosunku do sześciu typów wirusa grypy, włączając te aktualnie występujące i zagrażające epidemią: A/H1N1, A/H3N2, B, H2N2 i H9N2. Wyniki badań stwarzają nadzieję, że EGCG, lub któryś z pochodnych



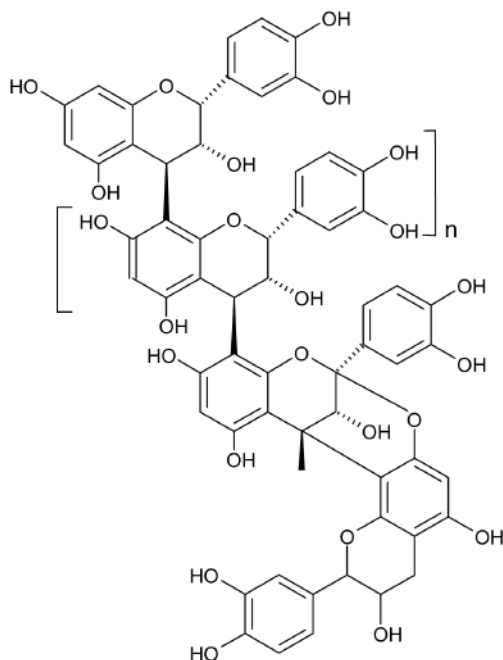
Rys. 3. Galusan epigalokatechiny

związków polifenolowych, może być lekiem przeciwwirusowym. Wiele badań epidemiologicznych na dużych populacjach potwierdza, że picie kilku filiżanek zielonej herbaty dziennie zmniejsza ryzyko chorób degeneracyjnych [11]. Im większa konsumpcja zielonej herbaty, tym mniej zaawansowanej miażdżycy i chorób układu krążenia, chorób neurodegeneracyjnych i nowotworowych. EGCG okazał się głównym związkiem bioaktywnym, odpowiedzialnym za efekty antyoksydacyjne, chemoprewencję raka, wspomaganie odchudzania, ochronę skóry przed UV itd. Związek ten działa na różne receptory, ale do skutecznego oddziaływania potrzebne są większe stężenia niż uzyskiwane z naparu zielonej herbaty. Barięą jest niska biodostępność galusanu epigalokatechiny, choć i tak wchłania się on znacznie lepiej niż większość flawonoidów. Większe dawki

EGCG można podać korzystając z suplementów diety, ale należałoby najpierw wykonać badania kliniczne sprawdzające efektywność preparatów z czystym związkem. EGCG jest otrzymywany na większą skalę poprzez ekstrakcję z liści zielonej herbaty i rozdział frakcji katechin na kolumnach chromatograficznych. Wobec pozytywnych wyników ostatnio prowadzonych badań klinicznych można oczekiwać, że wzrośnie popyt na ten związek oraz znaczenie syntetycznie otrzymywanego EGCG i jego pochodnych, ale totalna stereoselektywna synteza nie jest łatwa [12].

Proantocyjanidyna – oligomer z dimerem typu A

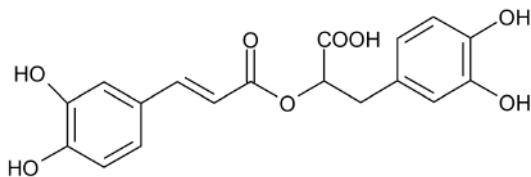
Żurawina błotna (*Vaccinium oxycoccus*) rośnie na północy Europy, natomiast w USA i Kanadzie rośnie żurawina wielkoowocowa (*Vaccinium macrocarpus*). Medycyna ludowa obu kontynentów polecała żurawiny jako środek przeciwszkorbutowy, na przeziębienia czy reumatyzm, ale również na infekcje dróg moczowych [13]. Skład chemiczny jagód poznano niedawno, a mechanizmy działania biologicznego poszczególnych składników są badane do tej pory. Współczesne badania potwierdziły, że regularne picie soku z żurawin zapobiega nawrotom stanów zapalnych pęcherza, a także redukuje liczbę bakterii, wspomagając kurację antybiotykową. W obecności soku żurawinowego bakterie *E. coli* zmieniają kształt, ulegają wydłużeniu, podobnie jak pod wpływem antybiotyków, i tracą fimbrie, wyrostki umożliwiające przyczepienie się do podłoża i rozrost kolonii. Jest to więc działanie antyadhezyjne [14]. Bioaktywnym związkiem jest oligomer proantocyjanidynowy [15] składający się z 4 lub 5 jednostek epikatechiny z dimerem typu A2 na końcu. Frakcja proantocyjanidyn skutecznie działa już przy stężeniu 75 µg/ml, co tłumaczy, dlaczego wystarczy wypicie 1-2 szklanek soku żurawinowego, aby nie rozwijały się infekcje. Proantocyjanidyny działają też na bakterie w jamie ustnej i na zębach, zapobiegając paradontozie i próchnicy. W obecności soku z żurawin bakterie *Helicobacter pylori* nie tworzą kolonii w żołądku, co zmniejsza możliwość rozwoju choroby wrzodowej. Żurawina jest skuteczna w zapobieganiu miażdżycy i jej skutkom w postaci chorób serca i układu krążenia. Przekonujący dowód na to, że sok z żurawin jest silnym antyoksydantem uzyskano w testach z ludzkim LDL [16]. Stężenie bioaktywnych związków soku, które chroniło lipoproteiny przed utlenieniem, było podobne jak w przypadku soku z winogron. Proantocyjanidyna o działaniu antyadhezyjnym byłaby cennym lekiem przeciwdziałającym infekcjom bakteryjnym układu moczowego i pokarmowego. Niestety taki oligomer jest trudny do zsyntezowania.



Rys. 4. Oligomer proantocyjanidynowy

Kwas rozmarynowy

Nazwa pochodzi od rozmarynu lekarskiego, ale jest go dużo także w takich roślinach, jak melisa lekarska, szalwia lekarska, mięta pieprzowa, tymianek, oregano i majeranek, stosowanych jako popularne przyprawy. Przyprawy te nie tylko aromatyzująca żywność, ale również mają właściwości konserwujące. Ekstrakty bogate w ten kwas, to preparaty stosowane jako przeciwutleniacze w żywności, o statusie GRAS (akceptowane jako bezpieczne). Kwas rozmarynowy [17] jest silnym antyoksydantem, ma działanie przeciwbakteryjne (*Staphylococcus*, *Salmonella*), przeciwwirusowe (np. przeciwko wirusom opryszczki typu 1), a także przeciwzapalne (hamowanie prozapalnej cyklooksygenazy, COX-2).



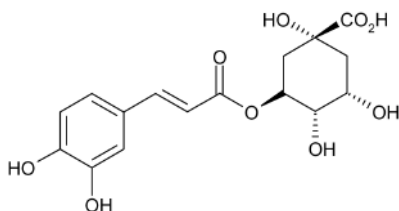
Rys. 5. Kwas rozmarynowy

Ekstrakty z rozmarynu czy szalwii pomagają pacjentom z chorobą Alzheimera, a neuroprotektynym składnikiem jest kwas rozmarynowy. Dokładniejsze badania mechanizmu pokazały, że stymuluje powstawanie nowych komórek nerwowych w hipokampie oraz przeciwdziała agregacji beta-amyloidu. To sojusznik w walce z Alzheimerem i demencją, a także potencjalna substancja lecznicza.

Kwas chlorogenowy

Kwas chlorogenowy (ester kwasu chinowego i kawowego, CQA) ma właściwości antyoksydacyjne, a obecność dwóch grup hydroksylowych w położeniu *orto* umożliwia tworzenie kompleksów z jonami metali. Mimo że występuje w wielu produktach żywnościowych (np. w kawie, herbacie, jabłkach, śliwkach), było mało danych o jego roli w żywych organizmach. Jego właściwości zaczęto szerzej badać po opublikowaniu wyników badań epidemiologicznych dotyczących konsumpcji kawy. Ich celem było stwierdzenie, czy picie kilku filiżanek kawy dziennie powoduje wzrost ryzyka zawału serca. Okazało się, że nie ma takiej zależności. Analiza danych [18], dla ponad 88 tys. kobiet pokazała natomiast, że umiarkowana ilość kawy (1-4 filiżanki) zmniejsza ryzyko cukrzycy typu II. Kwas chlorogenowy jest głównym związkiem antyoksydacyjnym w kawie; zwolennicy kawy konsumują go w ilości nawet 1 g dziennie. Niestety, palenie kawy powoduje rozkład znacznej części kwasu. Ponieważ pokazano jego interesujące właściwości (obniżanie ciśnienia, hamowanie absorpcji glukozy), warto zwiększyć jego zawartość w diecie. Można zastosować ekstrakty z zielonych ziaren kawy, podając je w charakterze suplementów diety. W kawie jest kilka różnych form kwasu chlorogenowego, różniących się miejscem połączenia kwasu kawowego z chinowym: 3-CQA, 4-CQA, 5-CQA, są też pochodne dwupodstawione: 3,4-diCQA, 3,5-diCQA i 4,5-diCQA. Włączając pochodne z grupami metoksyłowymi, w ekstrakcie kawy Robusta znaleziono ponad 40 tego typu związków. Zawartość wszystkich izomerów (głównie 5-CQA) jest większa w ziarnach kawy dobrej jakości (do 10,4 g/100 g). Po wypiciu filiżanki kawy, nie wykryto kwasu chlorogenowego we krwi, ale odnotowano wzrost stężenia kwasu kawowego i jego metabolitów, co potwierdza, że kwas chlorogenowy szybko ulega hydrolizie i jest wychwytywany przez wątrobę.

Badania na otyłych szczurach z genetyczną odpornością na insulinę pokazały, że po podawaniu kwasu chlorogenowego znacząco spadło stężenie cholesterolu (o 44%) i triacylogliceroli (o 58%) w surowicy krwi oraz w wątrobie,

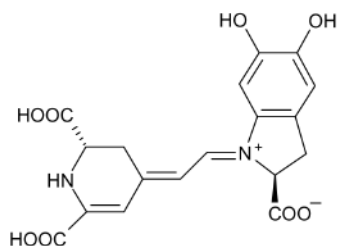


Rys. 6. Kwas chlorogenowy

a szczury mniej przybrały na wadze niż grupa kontrolna. Wydaje się, że podawanie kwasu chlorogenowego może być korzystne zarówno w przypadku cukrzycy typu II, jak i miażdżycy, bowiem zwiększa tolerancję glukozy i zmniejsza poziom lipidów we krwi [19]. Obecność kwasu chlorogenowego w preparatach odchudzających może sprzyjać utrzymaniu wagi przez mniejszą absorpcję cukrów w przewodzie pokarmowym, bo opóźnia ich przyswajanie. Hamuje też aktywność enzymu glukozo-6-fosfatazy w wątrobie, dzięki czemu obniża stężenie glukozy, a wtórnie również insuliny we krwi. Skłania to organizm do czerpania energii z zapasów zgromadzonych w tkance tłuszczowej. Wg testów klinicznych, dzienna dawka kwasu, która działa w kierunku redukcji masy ciała, wynosi 400 mg. Sugerowano, że kwas chlorogenowy ma właściwości przeciwnowotworowe i przeciwzapalne. Interesująca jest możliwość wykorzystania go jako antyoksydanta likwidującego rodniki azotowe i tlenowe, ale również jako prooksydanta, powodującego uszkodzenia DNA. Związki z ugrupowaniem orto-dihydroksy są prooksydantami w obecności jonów miedzi, z którą tworzą kompleksy. Istnieje dobra korelacja pomiędzy ich oksydacyjnym potencjałem a aktywnością w uszkodzaniu DNA, co sugeruje łatwe przeniesienie elektronu z części polifenolowej do Cu(II). Reaktywne związki tlenu i Cu(I), powodują przerywanie nici DNA i uruchomienie procesu apoptozy w komórce. Indukowanie apoptozy w obecności endogennych jonów miedzi i kwasów hydroksycynamowych, to interesująca możliwość stworzenia leków przeciwnowotworowych. Jednak zanim będzie potrzebny taki lek – można pić kawę i jeść owoce. Dość dużo kwasu chlorogenowego zawiera aronia, a także jabłka i śliwki. Z tego względu powinny być szczególnie polecane jako uzupełnienie diety diabetyków; są też korzystne w profilaktyce nowotworów.

Betalainy

Buraki ćwikłowe są wartościowym i smacznym warzywem, znanym w całej Europie. Oprócz błonnika, niewielkiej ilości cukrów i aminokwasów, bu-



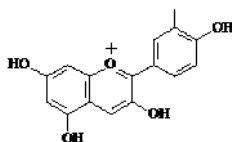
Rys. 7. Betalaina

raki mają dużo potasu (348 mg/100 g), mało sodu (52 mg), wiele cennych mikroelementów, witaminy z grupy B. Sok z buraków o intensywnym ciemnoczerwonym kolorze wykorzystuje się do gotowania barszczu, w przemyśle jest stosowany jako barwnik spożywczy. W ostatnich latach burakami zainteresowali się naukowcy związani z medycyną. Badania toksykologiczne soku z buraków dowiodły, że główne jego składniki nie mają właściwości alergizujących, mutagennych i nie są szkodliwe dla wątroby. Buraki są natomiast w pierwszej dziesiątce warzyw o najsilniejszych właściwościach przeciwutleniających – dzięki zawartości polifenoli, a głównie barwników, znanych jako betalainy [20] (betaniny). Barwniki te działają przeciwnowotworowo i przeciwwirusowo. Sok z buraków jest doskonałym źródłem hydrofilowych antyoksydantów, dostarcza 132 mg polifenoli, w tym 72 mg betalain (w 100 ml). W eksperymentach na myszach ekstrakt z buraka był skuteczny w zapobieganiu raka skóry i płuc. Myszy chore na raka, którym podawano sok z buraków, lepiej znosiły chemioterapię, miały lepszy apetyt i dłużej żyły. Badania te sugerują, że sok z buraków może poprawić jakość życia pacjentów leczonych chemioterapeutykami [21].

Antocyjany

To barwniki popularne w świecie roślin. Nazwa antocyjany obejmuje antocyjanidyny i ich pochodne cukrowe antocyjaniny (glikozydy). Dużo antocyjanów mają ciemne owoce jagodowe, takie jak: aronia, czarna porzeczka, czarny bez, czarne jagody, wiśnie czy winogrona. W czerwonym winie dominują pochodne malwidyny, w truskawkach – pelargonidyna, w aronii – cyjanidyny. Ludzie mają zdolność metabolizowania antocyjanin [22]. Po podaniu odpowiednio dużej dawki (np. 20 g ekstraktu aroniowego), obserwowano pojawienie się różnych metabolitów (glukuroniany), ich średnie stężenie w moczu to 17,9 nmol/l, stężenie w surowicy krwi było o rząd wielkości wyższe. Ekstrakt z czarnych jagód (36% antocyjanin) wpływał na przepływ krwi w naczyniach włosowatych i przyczyniał się do poprawy widzenia [23]. Antocyjany mogą okazać się sku-

teczne w profilaktyce chorób nowotworowych. W grupie zwierząt dostających antocyjany rozwijało się mniej nowotworów, mniej też było przerzutów mimo kancerogennej diety. Ekstrakty z winogron, czarnych jagód oraz aronii mogą być traktowane jako potencjalne preparaty chemoprewencyjne, zapobiegające rozwojowi raka jelita grubego [24]. Bardzo cennym surowcem są wytloki z wyciskania soku z owoców, dostarczają antocyjany i błonnik pokarmowy [25]. Antocyjany są też obiecujące w profilaktyce chorób neurodegeneracyjnych. Badania na szczurach pokazały, że ekstrakty z czarnych jagód mogą chronić przed utratą pamięci i zdolnością uczenia się [26].



Rys. 8. Cyjanidyna

Starzejące się społeczeństwo krajów UE będzie potrzebowało związków, które można wykorzystać w profilaktyce miażdżycy i chorób układu krążenia, chorób układu nerwowego czy chorób oczu. Antocyjanidyny nie są otrzymywane drogą syntezy, są izolowane z owoców. Rosnący popyt na koncentraty antocyjanów jest tymczasem szansą dla polskich producentów owoców, takich jak aronia czy czarna porzeczka.

Podsumowanie

Pomijając działanie antyoksydacyjne i bezpośrednie reakcje z wolnymi rodnikami, ciągle mało wiadomo o innych mechanizmach działania związków polifenolowych. Wyniki najnowszych badań sugerują, że mogą one wpływać na mechanizmy sygnałowe w komórkach, modulując aktywność kinaz białkowych i innych enzymów. Omawiane w niniejszym artykule bioaktywne związki polifenolowe nie są jeszcze lekami, ale mogłyby powstać szybciej, jeśli do badań włączyliby się chemicy zajmujący się syntezą związków organicznych oraz teoretycy umiejący zaprojektować podobną cząsteczkę wykorzystując metody modelowania molekularnego i techniki dokowania do receptora. Farmacja zaprasza do współpracy!

Literatura

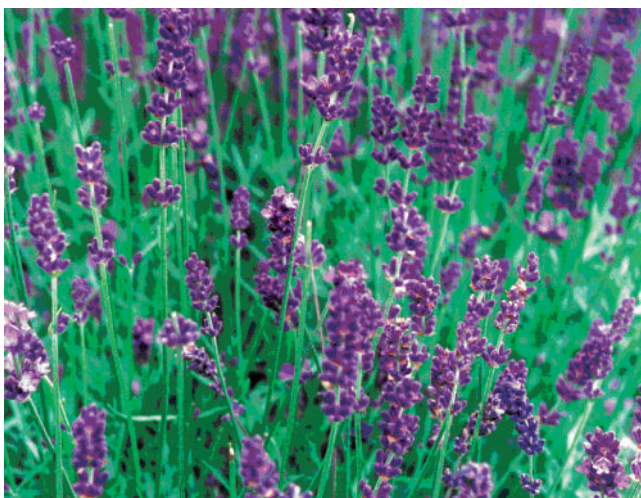
1. Ball S.: *Zumaby. Terapeutyczne przeciwciała monoklinalne*. Wyd. Medyk, Warszawa 2007.
2. Soleas G.J., Diamandis E.P., Goldberg D.M.: *Clin. Biochem.* 1997, **30**, 2, 91.
3. Qian Y.-P., Cai Y.-J., Fan G.-J.: *J. Med. Chem.* 2009, **52**, 7 1963.
4. Shoba G., Joy D., Joseph T. i in.: *Planta. Med.* 1998, **64**, 353.
5. Zhang F., Altorki N.K., Mestre J.R. i in.: *Carcinogenesis* 1999, **20**, 445.
6. Plummer S.M., Holloway K.A., Manson M.M. i in.: *Oncogene* 1999, **18**, 6013.
7. Cheng A.L., Hsu C.H., Lin J.K. i in.: *Anticancer Res* 2001, **21**, 2895.
8. Bhandarkar S.S., Arbiser J.L.: *Adv. Exp. Med. Biol* 2007, **595**, 185.
9. Wright J.T.: *J. Mol. Struct. (Theochem)* 2002, **591**, 207.
10. Song J.M., Park K.D., Lee K.H. i in.: *Antiviral Res.* 2007, **76**, 178.
11. Zaveri N.T.: *Life Sci.* 2006, **78**, 2073.
12. Nagle D.G., Ferreira D., Zhou Y.D.: *Phytochem.* 2006, **67**, 1849.
13. Henig Y.S., Leahy M.M.: *Nutrition* 2000, **16**, 684.
14. Howell A.B., Vorsa N., Marderosian A.D. i in: *N. Engl. J. Med* 1998, **339**, 1085.
15. Foo L.Y., Lu Y., Howell A.B., Vorsa N.: *Phytochem* 2000, **54**, 173.
16. Wilson T., Porcai J.P., Harbin D.: *Life Sci.* 1998, **62**, 381.
17. Petersen M., Simmonds M.S.J.: *Phytochem.* 2003, **62**, 121.
18. van Dam R.M., Willett W.C., Manson J.E., Hu F.B.: *Diabetes Care* 2006, **29**, 2, 398.
19. Rodriguez de Sotillo D.V., Hadley M.: *J. Nutr. Biochem*, 2002, **13**, 717.
20. Kanner J., Harel S., Granit R.: *J. Agric. Food Chem.* 2001, **49**, 5178.
21. Stintzing F.C., Carle R.: *Trends Food Sci. Technol* 2004, **15**, 19.
22. Kay C.D., Mazza G., Holub B.J., Wang J.: *Br. J. Nutr.* 2004, **91**, 6, 933.
23. Morazzoni P., Bombardelli E.: *Fitoterapia* 1996, **67**, 3.
24. Zhao C., Giusti M.M., Malik M. i in.: *J. Agric. Food Chem.* 2004, 52, **20**, 6122.
25. Wawer I., Wolniak M., Paradowska K.: *Solid State NMR* 2006, **30**, 106.
26. Youdim K.A., Shukitt-Hale B., Martin A. i in.: *Nutr. Neurosci.* 2000, 3383.

KOSMETYKI NATURALNE, CZY „NATURALNE”?

KONOPACKA-BRUD Iwona

Rynek wyrobów kosmetycznych określanych jako naturalne, w ciągu ostatnich kilkunastu lat rośnie w tempie kilkunastu procent rocznie i zajmuje coraz poważniejszy segment w sprzedaży kosmetyków, wyrobów toaletowych, a także szerokiej palety wyrobów chemii gospodarczej. Mimo szeregu wątpliwości wychodzących z kręgów medycznych i kosmetologicznych, kierunek ten rozwija się i nic nie wskazuje na to, żeby w najbliższej przyszłości cokolwiek w tej dziedzinie mogło ulec zmianie.

Słowa kluczowe: kosmetyki naturalne, wyroby toaletowe, kosmetyki organiczne, kosmeceutyki



NATURAL, OR „NATURAL” COSMETIC PRODUCTS?

KONOPACKA-BRUD Iwona

During the last several years, the market of cosmetic products, defined as natural ones, has been increasing by several percent a year and it is covering more and more serious segment of selling cosmetics, toiletries and a wide range of household chemistry products. Despite numerous doubts from medicine and cosmetology circles, this trend is developing and there is no evidence of any changes in the nearest future.

Keywords: natural cosmetic products, chemistry products toiletries, organic cosmetic products, cosmeceutic products

KOSMETYKI NATURALNE, CZY „NATURALNE”?

Iwona KONOPACKA-BRUD – Fabryka Substancji Zapachowych
„Pollena-Aroma” sp. z o.o., Warszawa

Rynek wyrobów kosmetycznych określanych jako naturalne w ciągu ostatnich kilkunastu lat rośnie w tempie kilkunastu procent rocznie i zajmuje coraz poważniejszy segment w sprzedaży kosmetyków, wyrobów toaletowych, a także szerokiej palety wyrobów chemii gospodarczej. Według różnych źródeł, w latach 2007-2009 sprzedaż wyrobów w tej grupie na świecie wzrosła z ok. 7 do 10 mld USD. Są to dane bardzo przybliżone i w wielu przypadkach dyskusyjne, ze względu na opisane dalej w artykule problemy z nomenklaturą. Niemniej tendencja nie budzi wątpliwości. Słowo „naturalny” jest odmieniane przez wszystkie przypadki w materiałach reklamowych i promocyjnych przemysłu kosmetycznego ze wszystkimi zbliżonymi do niego określeniami typu „siły natury”, „dary przyrody”, „energia roślin”, itp. Mimo szeregu wątpliwości wychodzących z kręgów medycznych i kosmetologicznych, kierunek ten rozwija się i nic nie wskazuje na to, żeby w najbliższej przyszłości cokolwiek w tej dziedzinie mogło ulec zmianie. Największe koncerny w branży kosmetycznej i chemii gospodarczej, które swój rozwój opierały na badaniach i syntezie nowych surowców kosmetycznych i substancji biologicznie czynnych, w coraz szerszym zakresie kierują swoje zainteresowania w kierunku produktów opartych na tradycjach ludowych lub literaturze starożytnej, obfitującą w receptury kosmetyków i leków zawierających roślinne, mineralne i coraz rzadziej zwierzęce substancje czynne. Dobrym przykładem tej tendencji może być przejęcie w 2009 r. firmy Body Shop specjalizującej się w niszowej kosmetyce „naturalnej” przez koncern L’Oreal.

Trochę historii

Od nowa odkrywane są i traktowane bardzo serio starożytne receptury: hinduska Ayurveda, recepty z egipskich papirusów, tradycyjna medycyna i kosmetyka chińska, tradycje Majów, Azteków, Indian itd. Jeden z najlepszych technologicznie przepisów otrzymywania oleju z kozieradki, używanego do celów kosmetycznych pochodzi z tzw. Papirusu Erwina Smitha z XVI w. p.n.e. i kończy się słowami, które mogłyby się znaleźć w każdej współczesnej reklamie kosmetyków: *„Kiedy posmarujesz nim ciało, skóra staje się piękna i młoda bez*

żadnych skaz” [1]. To samo dotyczy badań nad medycyną i kosmetyką ludową, która stanowi niewyczerpane źródło receptury preparatów pielęgnacyjnych i upiększających opartych wyłącznie na składnikach naturalnych. Najlepsi naukowcy z dziedziny kosmologii z uwagą studiują badania etnografów opisujące preparaty stosowane zarówno w ludowych tradycjach Europy jak i egzotycznych plemion Azji czy Ameryki Południowej.

Wyroby te były oparte na łatwo dostępnych (choć nie zawsze tanich i łatwych do otrzymania) surowcach i substancjach czynnych, pochodzące z roślin, preparatów zwierzęcych oraz minerałów. Nośnikami substancji aktywnych były tłuszcze zwierzęce lub roślinne, sproszkowane minerały czy skrobia. Substancjami czynnymi były natomiast olejki eteryczne destylowane z roślin od co najmniej 5000 lat, roślinne ekstrakty wodne, tłuszczowe i olejowe, roztwory alkoholowe (np. XIV-wieczna Woda Królowej Węgier – przypisywana Elżbiecie Łokietkówniej – która była lekiem na reumatyzm i najmodniejszymi w Europie perfumami przez blisko 400 lat) [2]. Wykorzystywano niektóre minerały (np. znany do dziś krystaliczny kompleks soli glinu używany w Azji Południowo-Wschodniej jako dezodorant/antyperspirant, czy używany do dziś w zasypkach czy pudrach talk) i wydzieliny zwierzęce (choćaby popularny do dziś воск pszczeli w kosmetykach, czy piżmo i kastoreum w perfumach). Wspólną cechą tych wszystkich produktów była bardzo ograniczona trwałość, choć odnaleziony przez archeologów brytyjskich cynowy pojemnik z kremem kosmetycznym pochodzący z I w. n.e. zawierał produkt nadający się do użytku, ponieważ otoczony był skamieniałą warstwą gliny, która hermetycznie zamknęła opakowanie. Donoszono także, że nadal pięknie pachniały amfory z wonnymi olejkami znalezionymi w grobowcu Tutenchamona [2]. Ograniczona trwałość opisanych kosmetyków wynikała z małej odporności większości składników na temperaturę, dostęp powietrza i działanie światła.

Trwałość kosmetyków jest najtrudniejszym elementem dziedziny nazywanej dziś „kosmetyką naturalną”. Problemem jest również samo określenie „kosmetyk naturalny”. Jak dotąd w żadnym systemie prawnym nie zdefiniowano tego pojęcia i stąd jego powszechne dziś używanie nie ma żadnych ograniczeń. Istnieją co prawda dość poważne i wiarygodne instytucje, które nadają kosmetykom certyfikaty „naturalny” i/lub „organiczny” i/lub „ekologiczny”, ale każda z nich stosuje inne kryteria, a żaden z kosmetyków odpowiadających tym kryteriom nie jest w pełni naturalny, tak jak były naturalne kosmetyki z toaletki Kleopaty czy Poppei.

Marketing XXI wieku

Niezwykle istotnym elementem kosmetyków naturalnych jest rzeczywiste oddziaływanie i skuteczność zawartych w nich, pochodzących ze źródeł naturalnych substancji czynnych. Roślinne, zwierzęce i mineralne substancje czynne są znane i od wielu lat stosowane w farmacji, ziołarstwie, homeopatii, a także kosmetyce. Są opisane w farmakopeach i w stosunku do wielu z nich prowadzone wieloletnie badania kliniczne potwierdziły skuteczne oddziaływanie na skórę np. w kosmetykach pielęgnacyjnych. Żadnych wątpliwości w recepturze kosmetyku nie budzi dodatek np. mleczka pszczelego, lanoliny, olejków eterycznych czy oleju z żółtek. Ale żaden z tych surowców nie będzie stanowił podstawy do skutecznego marketingu nowego wyrobu. Do tego celu potrzebny jest element, który pobudzi wyobraźnię potencjalnych użytkowników i zachęci do kupna. Stąd też w nowych kosmetykach naturalnych pojawiają się niesłychanie egzotyczne i frapujące nazwy, przede wszystkim roślin (rzadziej produktów zwierzęcych), pochodzących z serca dżungli lub tajemnych receptur afrykańskich szamanów, chińskich medyków czy wspomnianej już indyjskiej Ayurvedy. Ogromna większość tych preparatów nie ma za sobą rzetelnych badań klinicznych dotyczących skuteczności w zakresie opisanym w reklamie, chociaż z reguły sprawdzane jest dokładnie bezpieczeństwo ich stosowania. W sposób oczywisty chroni się w ten sposób interes firmy przed ewentualnymi roszczeniami użytkowników. Zadaniem specjalistów od reklamy i marketingu jest takie formułowanie tekstów reklam, ulotek i etykiet, aby opis rzeczywistych lub rzekomych mniej lub bardziej cudownych właściwości preparatu nie kolidował z przepisami prawa (w Europie – Dyrektywy Kosmetycznej 76/768/UE, w Polsce Ustawy o Kosmetykach z 31 marca 2001 r. z późniejszymi zmianami) i nie zawierał określeń, które kwalifikowałyby produkt do grupy środków leczniczych, gdzie wymagana jest rejestracja i długotrwałe badania kliniczne. Stąd na takich wyrobach pojawiają się informacje o „rewelacyjnym odmłodzeniu skóry przy pomocy ekstraktu z... (tu możliwe egzotyczna lub skomplikowana nazwa łacińska rośliny) stosowanego od wieków przez mieszkanki (tu egzotyczny kraj)” lub regeneracji naskórka, odbudowie głębokich warstw skóry, wygładzaniu zmarszczek, ujędrnianiu skóry szyi, itd. Wszystkie te obietnice i deklaracje szczególnie zaopatrzone dopiskiem „skuteczny”, np. do 78%, albo u 96% kobiet, nie wymagają właściwie żadnych badań, ponieważ w konkretnych przypadkach próby kontestowania wyrobu i jego deklarowanych cech nie mają szans powodzenia, jako że braku której-

kolwiek z podanych wyżej przykładowo właściwości w jednoznaczny sposób udowodnić się nie da.

Nie oznacza to oczywiście, że rosnąca paleta wprowadzanych do kosmetyków kilku tysięcy substancji czynnych pochodzenia naturalnego, to składniki nieskuteczne i bezwartościowe. W wielu przypadkach, także i poza kosmetyką, współczesna wiedza i działanie preparatów roślinnych opiera się na tradycji i doświadczeniu, które nie zawsze są potwierdzone badaniami klinicznymi (choćby ziołolecznictwo). Podobnie jest w przypadku substancji czynnych w kosmetyce. Znane i stosowane od lat, co pewien czas poddawane badaniom potwierdzającym ich właściwości, nie budzą żadnych wątpliwości, chociaż, szczególnie w wyniku badań dermatologicznych, wprowadza się ograniczenia w ich stosowaniu, ze względu na cechy drażniące skórę czy alergizujące.

W stosunku do substancji nowych, przy umiejętnie opracowanym opisie ich właściwości, tego typu ograniczenia nie istnieją. Jeżeli deklarowane działanie produktu nie wchodzi w zakres działania leczniczego i jest opisane na tyle dobrze, że nie wymaga udokumentowania, może on być wprowadzany do kosmetyków bez żadnych problemów.

Definicje

Problem „kosmetyków naturalnych” (organiczny, ekologiczny) nadal istnieje w sensie definicji i uregulowań prawnych. O ile nie budzi wątpliwości, że maseczka z rozgniecionych truskawek, okład z plasterków ogórka, czy słynne w starożytności mleko oślic, to kosmetyki w 100% naturalne, to każdy preparat wytwarzany w skali masowej, który musi przejść długą drogę od producenta, przez hurt, handel do klienta, powinien mieć tak skonstruowaną recepturę, żeby ten proces przetrwać bez straty deklarowanych właściwości. Preparaty oparte w większości na składnikach syntetycznych, odpornych na czynniki zewnętrzne, z dodatkiem konserwantów, przeciwutleniaczy i innych składników zabezpieczających, nawet jeżeli zawierają składniki pochodzenia naturalnego, będą odporne na proces przechowywania. Preparaty oparte wyłącznie na składnikach naturalnych takiej odporności nie mają.

Istnieją, co prawda, próby wprowadzania na rynek kosmetyków, opartych wyłącznie na surowcach naturalnych, wytwarzanych np. w gabinecie kosmetycznym dla konkretnej klientki, lub w specjalistycznych sklepach, gdzie kosmetyk miesza się na miejscu według wybranej receptury. Jednak takie wyro-

by przygotowuje się na ogół w małych ilościach i mają okres trwałości liczony w dniach lub maksimum tygodniach.

Współczesna wiedza kosmetologiczna nie pozwala na wyprodukowanie kosmetyków wyłącznie z surowców naturalnych, które można wprowadzić na rynek do masowej sprzedaży. Zastosowanie substancji syntetycznych zabezpieczających produkt przed zepsuciem i ewentualnym zagrożeniem dla użytkownika jest konieczne. Tak więc problem kosmetyków naturalnych, produkowanych dziś w skali masowej i uzyskujących „certyfikaty” sprowadza się do definicji określeń „naturalny”, „organiczny”, „ekologiczny” i tym podobnych. Kluczowe jest też przyjęcie pewnych kompromisów dotyczących dopuszczalnych zawartości substancji syntetycznych, szczególnie konserwantów i przeciwutleniaczy.

We wszystkich definicjach surowców naturalnych powtarzają się pewne podstawowe założenia, chociaż w konkretnych przypadkach organizacji certyfikujących poszczególne kryteria mogą być różne. Na ogół przyjmuje się, za założeniami przyjętymi w Niemczech, że [3]:

- surowce roślinne pochodzą z kontrolowanych upraw lub z kontrolowanych „dzikich zbiorów” (w tym olejki eteryczne i ich frakcje, barwniki naturalne)
- surowce zwierzęce są dozwolone tylko wtedy, kiedy są pozyskiwane od zwierząt żyjących (np. lanolina z wełny owczej, mleko i jego pochodne, produkty pszczele), możliwie z ekologicznych hodowli. Wyjątkami są chitosan, carmin, jedwab
- użycie soli nieorganicznych i surowców mineralnych jest dozwolone tylko w określonych wyjątkach
- można, lecz z ograniczeniami, stosować takie surowce, jak emulgatory i inne środki powierzchniowo czynne, otrzymywane metodami fizycznymi lub biotechnologicznymi z naturalnych tłuszczów, olejów, wosków, lecytyny, lanoliny, sacharydów, protein i lipoprotein
- nie stosuje się żadnych syntetycznych barwników, syntetycznych substancji zapachowych, silikonu, parafiny i żadnych innych produktów pochodzących z ropy naftowej
- mikrobiologiczną czystość preparatów zapewniają przede wszystkim naturalne systemy konserwujące. Dopuszczalne są również identyczne z naturalnymi substancje konserwujące, które muszą być wymienione w składzie na opakowaniu
- sterylizacja surowców i produktów w drodze radioaktywnego naświetlania jest niedozwolona.

Jasno sformułowane sposoby produkcji, zgodne z prawami natury, celowe uświadamianie konsumentów, całkowita rezygnacja z doświadczeń na zwierzętach, a także ekologiczne kryteria w odniesieniu do surowców, wyrobów gotowych, opakowań, a także sposobów produkcji i obrotu – to podstawowe cele obowiązujących wytycznych.

Certyfikacją kosmetyków naturalnych zajmuje się szereg instytucji. Na ogół są to prywatne jednostki badawcze lub organizacje branżowe. Najpopularniejszy jest francuski EKOCERT, którego certyfikaty są aprobowane w ponad 80 krajach, niemiecki BIDH (Federalny Związek Niemieckiego Przemysłu i Firm Handlowych), brytyjskie stowarzyszenie SOIL ASSOCIATION, włoskie AIAB (Włoskie Stowarzyszenie Rolnictwa Biologicznego), belgijskie BIOFORUM oraz kilka organizacji amerykańskich. W Polsce pewne działania podejmuje Polskie Centrum Badań i Certyfikacji. Sprawą kosmetyków naturalnych zajmują się również organy Unii Europejskiej. W 2000 r. Komitet Ekspertów Produktów Kosmetycznych przy Komitecie Zdrowia Publicznego Rady Europy opracował wytyczne dotyczące kosmetyków naturalnych, ale nie stanowią one obowiązującego prawa. Interesujące są inicjatywy działających w tej dziedzinie organizacji, które próbują stworzyć jednolity system kryteriów i ocen. W 2002 r. na targach BIOFACH kilka ze wspomnianych wcześniej organizacji powołało grupę roboczą, która miała opracować jednolite zasady certyfikacji kosmetyków naturalnych. Powstały w ten sposób normy dla kosmetyków organicznych COSMOS (*Cosmetic Organic Standards*), które nadal pozostają jedynie wskazówkami, ale nie mają mocy obowiązującego prawa [4]. Na kolejnej konferencji w 2007 r. w Paryżu postanowiono wprowadzić dwa poziomy standardów – dla kosmetyków organicznych i kosmetyków naturalnych. W dalszym ciągu dyskusyjnym problemem pozostaje lista metod, jakimi można przetwarzać surowce naturalne, aby otrzymane tymi metodami składniki były dalej uważane za naturalne oraz sprawa syntetycznych konserwantów, bez których wielu kosmetyków, o wymaganej regułami handlu trwałości, wyprodukować się nie da. Na tej samej konferencji w Paryżu powołano jednostkę o nazwie NaTrue, której celem jest reprezentowanie producentów kosmetyków naturalnych w procesach tworzenia prawa europejskiego w Brukseli [5].

Kryteria i procedury wydawania certyfikatów są różne. Na rynku świadomi konsumenci potrafią ocenić wiarygodność deklaracji producenta w ulotkach i reklamie, natomiast na rynku masowym na dużą skalę określenia „naturalny”, „ekologiczny”, „organiczny” itp. są bezkarnie nadużywane i stosowane do produktów znacznie odbiegających od opisanych ogólnych kryteriów.

Podobna sytuacja występuje w przypadku kosmeceutyków, czyli kosmetyków o działaniu leczniczym (np. przeciwtrądzikowe, przeciwłupieżowe), do których zaliczają się również kosmetyki z grupy naturalnych. Granice między działaniem pielęgnacyjnym (charakterystycznym dla kosmetyków z definicji ustawowej) a leczniczym (wymagającym innej procedury wprowadzania na rynek) są nieostre i wiele wyrobów funkcjonuje na pograniczu tego prawa. Przykładem może być powszechny w kosmetykach i od dawna sprawdzony jako zupełnie bezpieczny, olej parafinowy otrzymywany przez destylację z ropy naftowej (a więc proces chemiczny), która jest przecież produktem równie naturalnym jak talk czy woda morska. Eliminacja wszelkich produktów pochodzenia petrochemicznego jest być może uzasadniona, ale także dyskusyjna. Podobnie jak powszechnie postulowane przez producentów dopuszczenia limitowanego dodatku syntetycznych konserwantów (akceptowanych dziś przez większość systemów certyfikacji). Sprawa jest otwarta i wydaje się, że sporo czasu upłynie, zanim powstaną jednoznaczne przepisy regulujące na szczeblu międzynarodowym omawiane zagadnienia.

Tradycyjne naturalne oleje roślinne i olejki eteryczne

Wszystkie wątpliwości i niejasności w zakresie nomenklatury i przepisów nie umniejszają ogromnej roli, jaką surowce pochodzenia naturalnego odgrywały i nadal odgrywają w produkcji kosmetyków. Wystarczy wymienić tłuszcze roślinne i zwierzęce stosowane do celów kosmetycznych od czasów starożytnych (np. oliwa z oliwek [1, 6], jaką namaszczeni się zawodnicy olimpiad, czy święte oleje chroniące kapłanów żydowskich przed infekcjami opisane w Biblii). Dziś oleje roślinne (rzadziej tłuszcze zwierzęce, choć lanolina jest w powszechnym użyciu) w niezwykle szerokim asortymencie są stosowane w prawie wszystkich kosmetykach jako nośniki, składniki emulsji czy nawet substancje czynne, ze względu na zawarte w nich NNKT (witamina F), witaminy E, A, prowitaminy, fosfolipidy, fitosterole i inne korzystne dla skóry substancje, chroniące skórę przed utratą wody, zapobiegające jej starzeniu się i wspomagające syntezę kolagenu (oleje sojowy *Glycine clandestina*, awokado *Persea gratissima*, masło kakaowe *Theobroma cacao*) [7]. Te właśnie czynne substancje zawarte w olejach roślinnych są przyczyną szerokich badań prowadzonych nad składem i możliwymi zastosowaniami tłuszczów roślinnych. Stąd w ofercie producentów i w reklamach kosmetyków rosnąca liczba egzotycznych nazw jak masło shea (karita) – olej z masło-

sza *Vittelaria paradoxa*, (*Butyrospermum parkii*), czy masło Babassu *Orobignya oleifera* używane jako nośniki, szczególnie w preparatach do opalania, do skóry suchej, dojrzałej, oraz do masażu ciała i pielęgnacji włosów. Mają działanie emoliencyjne i nawilżające w wyniku zmniejszenia TEWL – utraty wody przez warstwę skóry [7]. Także olej arganowy (*Argania spinowa*), tzw. migdał Berberów, zawierający cenne kwasy omega-3 i omega-6, oraz witaminy E i F, olej z pestek brzoskwiń *Prunus persica*, czy bardziej popularne oleje ze słodkich migdałów *Prunus dulcis*, z pestek winogron *Vitis vinifera*, z kielków pszenicy *Triticum vulgare*, z orzeszków macadamia *Macadamia ternifolia*, z nasion marchwi *Daucus carota*, z ogórecznika *Borago officinalis*, rokitnika *Hippochaeris rhamnoides* (silny przeciwutleniacz) i wiele innych, mają podobne właściwości, jak wspomniane wcześniej masła i zawierają dodatkowo cenne składniki – niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe, witaminy, karotenoidy, fosfolipidy itd.

Stosowane od wieków roślinne olejki eteryczne (lotne mieszanki pachnących substancji), które używane są nie tylko w perfumerii jako substancje zapachowe, ale które dzięki swoim rozlicznym właściwościom, stały się podstawą składników czynnych w kosmetykach oraz bazą bardzo popularnej dziedziny medycyny naturalnej – aromaterapii [1, 2, 8], do której dość często, choć nie zawsze zgodnie z jej ideami, nawiązują producenci kosmetyków a nawet wyrobów chemii gospodarczej. Najbardziej cenione w kosmetyce to olejki eteryczne z drzewa różanego *Aniba rosaeodora*, drzewa herbacianego *Melaleuca alternifolia*, geraniowy *Pelargonum graveolens*, lawendowy *Lavandula officinalis*, neroli *Citrus aurantium* (z kwiatów pomarańczy), różany *Rosa damascena* i ylangowy *Cananga odorata*. Mają one szerokie spektrum właściwości pielęgnacyjnych, ochronnych i leczniczych jako środki przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe i przeciwgrzybicze, ochronne, pobudzające krążenie, przeciwbólowe, przeciwzapalne, zapobiegają wypadaniu włosów i starzeniu się skóry. Do tego dochodzi niekończąca się liczba coraz bardziej egzotycznych ekstraktów roślinnych, minerałów, preparatów z flory i fauny morskiej.

Tendencja do stosowania coraz to nowych surowców pozyskiwanych ze źródeł naturalnych ma bardzo silne wsparcie w opinii konsumentów. Z wielu badań rynków europejskich, amerykańskich i azjatyckich wynika, że produkty oparte na surowcach naturalnych są w przekonaniu konsumentów lepsze i bezpieczniejsze, chociaż nie zawsze jest to zgodne z wynikami badań klinicznych. Podsycają te poglądy medialne akcje ekologów, wspomagane łatwym dostępem do informacji, zainteresowanie kulturami i tradycjami zarówno historycznymi

jak i egzotycznymi, w których pełno informacji o sposobach poprawiania zdrowia i urody przy pomocy „darów natury”.

Wybrane, interesujące surowce naturalne

Przeglądy naturalnych surowców kosmetycznych to opasłe tomy obejmujące już tysiące pozycji. Jak już wspomniano, powodzenie na rynku kosmetyków można zyskać oferując coś nowego i nieznanego. Podane dalej przykłady surowców naturalnych proponowanych w kosmetykach są tylko ilustracją, z konieczności bardzo ograniczoną, tendencji, jakie na tym rynku panują.

Bardzo modne i szeroko reklamowane są preparaty z herbaty. Warto zauważyć, że niezwykle częstym błędem w publikacjach jest używanie określenia „olejek herbaciany” zamiast „olejek drzewa herbacianego”, który jest olejkami eterycznymi z *Melaleuca alternifolia* i nie ma nic wspólnego z herbatą (*Camelia sinensis*), z której zresztą olejku eterycznego otrzymać się nie da. Herbata jest natomiast źródłem cennych ekstraktów, które można otrzymać ze wszystkich jej rodzajów (zielona, czarna, biała). Szczególnie ta ostatnia jest ceniona jako surowiec do produkcji ekstraktu zawierającego aktywne polifenole, które hamują procesy utleniania wywoływane przez wolne rodniki. Ekstrakty otrzymywane ze specjalnego gatunku tej herbaty Pai Mu Tan (biała piwonია) z prowincji Fuijian są stosowane w preparatach zapobiegających starzeniu się skóry, przebarwieniom, wzmacniających funkcje ochronne skóry, ściągających i zapobiegających infekcjom. Podobne funkcje, ze szczególnym podkreśleniem działania antyseptycznego, ma „herbata” czerwona Rooibos *Aspalathus linearis*, której ekstrakt jest stosowany w preparatach przeciwzapalnych, antyseptycznych, przeciwalergicznym, przeciwtrądzikowym i przeciw egzemom. Zawiera m.in. witaminę C, magnez, wapń, miedź, cynk [9].

Wiele surowców naturalnych ma właściwości z powodzeniem zastępujące niezbędne substancje chemiczne chroniące kosmetyki przed starzeniem się i skażeniami. Interesującym przykładem jest znany już w księgach Ayurwedy agrest indyjski *Emblica officinalis* [10], którego ekstrakt jest silnym przeciwutleniaczem, zawierającym 10% β -glucogelliny, o działaniu silniejszym od kwasu askorbinowego. Takie samo działanie ma olejek z korzenia kurkumy [11], przy czym jego obecność w kosmetykach zwiększa blask i żywotność skóry. Wiele innych naturalnych przeciwutleniaczy oferuje japońska firma Shiseido [12].

Z kolei mieszanina olejków z liści drzewa curry *Murraya koenigii* i cynamonowca *Cinnamomum zeylanicum* jest silnym środkiem działającym na bakterie

Gram+ i Gram-, grzyby, pleśnie i drożdże i może być stosowana w kosmetykach jako konserwant [10]. Takie działanie konserwujące wykazują również inne olejki eteryczne i ekstrakty roślinne [1, 2, 8].

Wiele cech przydatnych w kosmetykach posiadają również rośliny znane i popularne jako produkty spożywcze. Np. przykład kwas punikowy (*punicic acid*) – pochodna kwasu linolenowego występujący w oleju z nasion owoców granatu (blisko 60%) jest silnym środkiem przeciwzapalnym, podobnie jak kwas elagowy (pochodna kwasu galusowego), który jest przeciwutleniaczem i ma działanie przeciwnowotworowe [11, 13]. Właściwości przeciwutleniające, przeciwzapalne, energizujące wykazują ekstrakty z organicznie uprawianych fig, truskawek, wiśni, mango, czarnej porzeczki, czereśni, czarnych jagód, jagód Acai (*Eutrepe oleracea* – jagoda palmy brazylijskiej), czy chińskiej *Myrica rubra*, ze względu na zawartość witaminy C i polifenoli [10]. Także mało w Polsce popularny owoc mangostan *Garcinia mangostana* pochodzący z Tajlandii, zawiera naturalne ksantany – roślinne fenole o silnym działaniu antyoksydacyjnym, przeciwzapalnym, antyseptycznym i immunomodulacyjnym [11, 14].

Cenne właściwości mają również preparaty otrzymywane z żywic, stosowanych już w starożytności jako leki – mirry, kadzidłowca, styraksu, benzoe i wielu innych pochodzących z Bliskiego Wschodu, Afryki i Azji Południowo-Wschodniej. Żywica kadzidłowca (Olibanum – *Boswellia sacra*), stosowana do dezynfekcji pomieszczeń przez okadzanie, zawiera kwas acetylo-keto-beta-boswelioowy o silnych właściwościach przeciwzapalnych. Ponadto zapobiega niszczeniu kolagenu i rogowaceniu skóry [11, 14].

Wiele roślin i otrzymywanych z nich ekstraktów zawiera cenne dla skóry hormony roślinne. Dzięgiel chiński *Angelica chinensis* zawiera flawonoidy i fitohormony o działaniu zbliżonym do estrogenów i progesteronu. Także pochodząca z Tajlandii *Pueraria mirifica* zawiera fitoestrogeny miroestrol i dioksymiroestrol o najsilniejszym działaniu estrogenowym wśród hormonów roślinnych. Reguluje poziom tłuszczu w tkance podskórnej i daje doskonałe rezultaty w terapii cellulitu, otyłości i ujędrnianiu piersi [14].

Obszarem bardzo interesujących badań świata roślin są mchy i porosty, których niezliczone gatunki występują na całej kuli ziemskiej. Od znanych od wieków mchów dębowego i sosnowego, których ekstrakty są stosowane w perfumarii, do najnowszych jeszcze nie do końca przebadanych preparatów o niezwykle ciekawych właściwościach i składnikach leczniczych i pielęgnacyjnych [15, 16].

Bogatym źródłem naturalnych surowców są morza i oceany. Tłuszcze i oleje wydobywane z ryb i innych zwierząt morskich, algi, koralowce – cała bogata

fauna i flora były stosowane od wieków i są obecne we współczesnej kosmetyce. Bardzo popularne są oleje otrzymywane z ryb, szczególnie morskich. Na przykład olej otrzymywany z łowionych w okolicach Nowej Zelandii ryb *Hoplostetibus atranticus* [12] ma skład kwasów tłuszczowych bliższy tłuszczowi ludzkiemu niż bardzo popularny w kosmetykach olej jojoba (*Simmondsia chinensis*). Cennym surowcem jest także woda morska, szczególnie z akwenów o dużym zasoleniu (np. Morze Martwe) oraz rozmaite glinki, muły i szlamy z terenów powulkanicznych (wyspa Volcano przy wybrzeżu Sycylii), bagien (preparaty torfowe) i innych źródeł. Także wody mineralne stają się składnikami czynnymi kosmetyków od tradycyjnej już w nazwie marki Vichy, poprzez dziesiątki innych wód i preparatów opartych na balneoterapii i SPA.

Osobnym zagadnieniem są „suplementy diety”, które mają wpływać pozytywnie na stan skóry i jej przydatków (włosy, paznokcie). Ogromna większość znajdujących się na rynku tego typu preparatów nie ma za sobą wiarygodnych badań klinicznych potwierdzających deklarowane właściwości, a receptury opierają się na ogólnie znanych właściwościach składników, które mają, potwierdzony badaniami, pozytywny wpływ na skórę, bądź też są dodawane do preparatów na zasadzie wiedzy o ich ogólnie korzystnym wpływie na stan zdrowia człowieka, co zazwyczaj korzystnie wpływa i na stan skóry (np. dodatki witamin, kwasów omega-3 itp.).

Zamiast podsumowania

Tak jak powiedziano we wstępie, rynek kosmetyków naturalnych, jakkolwiek definiuje się to określenie, rozwija się bardzo intensywnie i wszystko wskazuje na to, że ta tendencja utrzyma się przez wiele lat. W oczywisty sposób rozwój ten będzie sprzyjał poszukiwaniu nowych, skutecznych i bezpiecznych surowców, którymi będzie można zastępować substancje syntetyczne. Ewoluuować będzie także prawodawstwo [5] i być może w niedalekiej przyszłości uda się sprecyzować jednoznaczne i powszechnie akceptowane definicje określeń kosmetyków – „naturalne”, „ekologiczne”, „organiczne”.

Literatura

1. Brud W.S., Konopacka-Brud I.: *Pachnąca Apteka – Tajemnice Aromaterapii*. Łódź 2002.
2. Brud W.S., Konopacka-Brud I.: *Podstawy Perfumerii*. Łódź 2009.
3. *Aromaterapia* 2005, **11** (4), 26.

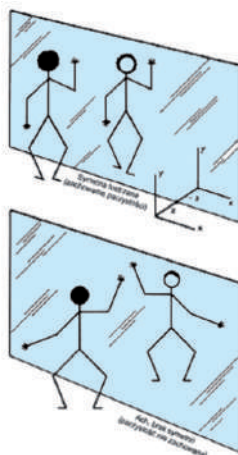
4. Sikora M.: *Aromaterapia* 2010, **16**,(3), 61.
5. Siekierski J.: *SOFW* (wydanie polskie) 2008, **1** (1), 2.
6. Arct J., Pytkowska K.: *SOFW* (wydanie polskie) 2008, **1** (2), 24.
7. Arct J. i in.: *Leksykon Surowców Kosmetycznych*. Warszawa 2010.
8. Konopacka-Brud I., Brud W.S.: *Aromaterapia dla każdego*. Białystok 2002.
9. *Beauty Forum* (wydanie polskie) 2008, **6**, 26.
10. Sabinsa J.: *Cosmetics and Toiletries* 2009, **124** (4), 57.
11. Kanga V.: *HAPPI* 2008, **3**, 76.
12. Fox C.: *Cosmetics and Toiletries* 2009, **124** (4), 20.
13. Shaath M., Shaath N.A.: *HAPPI* 2008, **1**, 58.
14. Jabs H.U.: *Beauty Forum Polska*: 2007, **9**, 10.
15. Joulain D., Tabacchi R.: *Flavours&Fragrance Journal* 2009, **24**, 49.
16. Joulain D., Tabacchi R.: *Flavours&Fragrance Journal* 2009, **24**, 105.

KIEDY IDENTYCZNE OZNACZA IDENTYCZNE

KIJEŃSKA Marta

Artykuł z cyklu „Słoneczna chemia” ma za zadanie przybliżenie młodemu człowiekowi zagadnień związanych z szeroko pojętą identycznością cząsteczek chemicznych. Z jednej strony pokazuje identyczność cząsteczek niezależnie od źródła ich pozyskiwania, z drugiej uwrażliwia na fakt, że taki sam wzór chemiczny nie musi oznaczać takiej samej cząsteczki. Szeroko omówione jest zjawisko izomerii optycznej, wraz z praktycznymi implikacjami z niej wynikającymi. Autorka pokusza się także o spekulacje, czy mógłby istnieć i jak wyglądałby świat lustrzany do naszego.

Słowa kluczowe: identyczność cząsteczek, izomeria optyczna, złamanie zasady parzystości



WHEN IDENTICAL MEANS IDENTICAL

KIJEŃSKA Marta

This paper of the “Sunny Chemistry” series is intended to familiarize a young man or woman with the problems of the broadly interpreted identity (sameness) of chemical molecules. It shows, on the one hand, the identity of molecules derived from various sources, and, on the other hand, it draws attention to the fact that the same chemical formula does not necessarily indicate an identical molecule. The phenomenon of optical isomerism is discussed extensively along with its practical implications. The author also speculates whether a mirror image of our world could exist and what would it look like.

Keywords: identity of molecules, optical isomerism, violation of the parity law

KIEDY IDENTYCZNE OZNACZA IDENTYCZNE

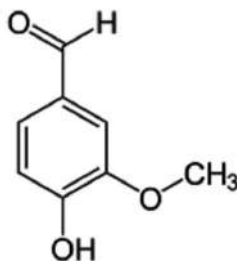
Marta KIJEŃSKA – Instytut Chemii Przemysłowej, Warszawa

Jedna z zasad chemii mówi, że cząsteczki zbudowane z tych samych atomów, połączonych w dokładnie ten sam sposób, są identyczne i mają identyczne właściwości. Innymi słowy, cząsteczka wody powstała podczas całkowitego spalania węglowodorów jest identyczna z cząsteczką wody powstałą na skutek syntezy z mieszaniny wodoru i tlenu – mają taką samą budowę, taką samą charakterystykę, wykazują takie same właściwości fizyczne. Obecnie dysponujemy rozwiniętymi metodami analitycznymi, pozwalającymi określić budowę cząsteczki – pomagają nam w tym zwłaszcza przeróżne metody spektroskopowe. W czasach, kiedy ich nie było, chemik organik, który zsyntetyzował jakiś związek, musiał porównać jego właściwości fizyczne z właściwościami związku wzorcowego i dopiero udowadniając identyczność właściwości fizycznych (m.in. temperatura topnienia) udowadniał, że nową metodą otrzymał znany związek. Zależność ta działa również w drugą stronę – projektując od podstaw cząsteczki chemiczne i udowadniając identyczność ich właściwości z wzorcem udowadniało również budowę cząsteczek.

Co dzisiaj w praktyce oznacza identyczność właściwości i do czego może się przydać, można pokazać na przykładzie aromatów waniliowych.

Naturalny ekstrakt z wanilii (*Vanilia planifolia*) jest mieszaniną kilkuset różnych związków. Wanilina (rys. 1) jest jednym z głównych składników aromatu wanilii.

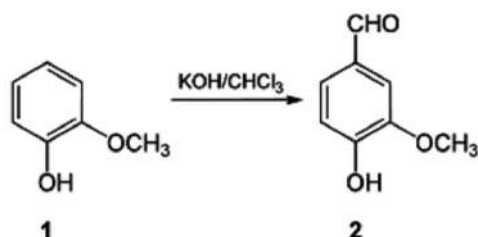
Z powodu wysokiej ceny zamiast naturalnego ekstraktu z wanilii w przemyśle spożywczym i kosmetycznym używana jest właśnie wanilina, głównie synte-



Rys. 1. Wzór strukturalny waniliny czyli 4-hydroksy-3metoksybenzaldehydu

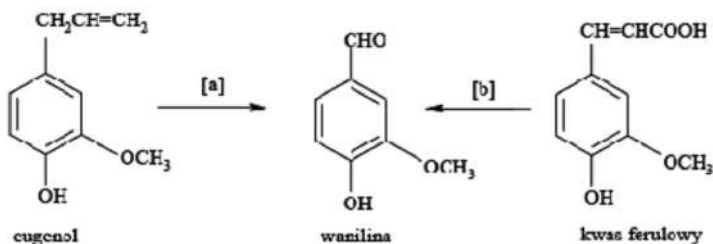
tyczna. Wyczuwalna różnica smaku między waniliną a ekstraktem z wanilii bierze się nie z tego, że wanilina otrzymywana jest syntetycznie, w przeciwieństwie do tej znajdującej się w ekstrakcie wanilii, a właśnie z nieobecności tych setek innych związków, wnoszących swoje do smakowych i zapachowych właściwości ekstraktu z wanilii. Innymi słowy – jeśli już decydujemy się na tańszy odpowiednik wanilii, a mianowicie wanilinę – nie ma znaczenia, czy jest ona izolowana z ekstraktu waniliowego (poniżej 1% światowej produkcji [1]), czy też otrzymywana syntetycznie lub, coraz częściej, biotechnologicznie.

Tradycyjna synteza waniliny (2) przeprowadzana była w reakcji Reimera-Tiemanna z gwajakolu (1) (rys. 2).



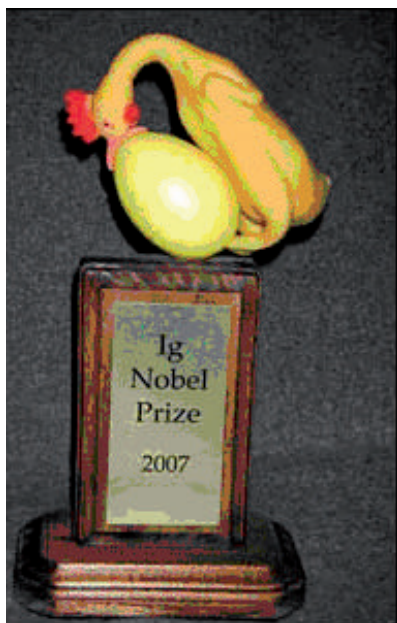
Rys. 2. Synteza waniliny metodą Reimera-Tiemanna

Wanilinę otrzymuje się także w określonych warunkach utleniania z ligniny. Obecnie najpopularniejsze są metody biotechnologiczne, polegające na biokonwersji izoeugenolu lub eugenolu (rys. 3a) przez szczepy bakterii *Corynebacterium* lub *Pseudomonas*, lub biokonwersji kwasu ferulowego (rys. 3b) pozyskiwanego z otrąb ryżowych [1].



Rys. 3. Biotechnologiczna synteza waniliny [1]

Cząsteczki waniliny, pozyskiwane wszystkimi wymienionymi drogami i z różnych surowców są identyczne. A jednak pomysł Japończyków, aby koszty produkcji waniliny jeszcze zmniejszyć i do jej pozyskiwania wykorzystać bogate w ligninę krowie odchody jest na tyle kontrowersyjny, że w 2007 r. doczekał się wyróżnienia nagrodą Ig Nobla (rys. 4), przyznana Mayu Yamamoto [2].

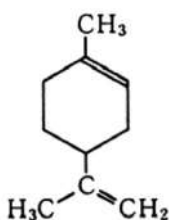


Rys. 4. Nagroda Ig Nobla [2]

Z okazji wręczenia nagród Ig Nobla odbyło się publiczne testowanie nowego smaku lodów waniliowych, wyprodukowanych na cześć Mayu Yamamoto, o nazwie Yum-A-Moto Vanilla Twist [3].

W rzeczywistości nie ma różnicy między waniliną izolowaną z nasion wanilii a tą otrzymywaną z krowiego kału. A jednak psychika człowieka sprawia, że lody Yum-A-Moto Vanilla Twist nie zrobiły kariery, choć wanilina otrzymywana z krowiego kału spełnia wszelkie kryteria „aromatu identycznego z naturalnym”.

Wbrew pozorom jednak, fakt że takie same atomy czy grupy funkcyjne łączą się w takiej samej kolejności nie oznacza, że cząsteczki muszą być identyczne. Czy dwie cząsteczki limonenu o wzorze strukturalnym przedstawionym na rysunku 5 będą zawsze identyczne?

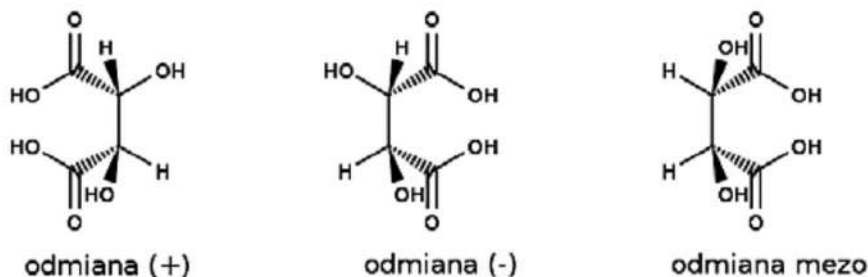


Rys. 5. Limonen

Być może tak. Może obie będą pachnieć cytryną? A być może obie będą pachnieć pomarańczą? A może jedna z nich będzie mieć zapach cytryny, a druga pomarańczy?

Tak, każda z tych wersji jest możliwa. Wszystko zależy od tego, w którą stronę każda z nich skrecałaby płaszczyznę światła spolaryzowanego liniowo. Brzmi tajemniczo? Okazuje się, że cząsteczki chemiczne nieposiadające osi symetrii, płaszczyzny symetrii ani środka symetrii wykazują cechę zwaną chiralnością. Słowo chiralność (pochodzące od greckiego *cheir* – ręka) oznacza, że cząsteczka wyjściowa i jej lustrzane odbicie nie są identyczne i nie można ich nałożyć

na siebie. Chiralność jest zresztą cechą dobrze znaną z życia codziennego – chiralne są na przykład nasze dłonie i stopy, rękawiczki i buty. Na pozór identyczne – a jednak jedna z nich jest lewa, a druga prawa. Nieważne, co byśmy robili, jak przekreślali lewą rękę – nigdy nie będzie ona identyczna z prawą. Identyczne z prawą ręką będzie natomiast lustrzane odbicie lewej. Podobnie jest z cząsteczkami, które zresztą także określamy jako „lewe” (-) i „prawe” (+). Terminologia ta związana jest z faktem, że cząsteczki chiralne są optycznie czynne, czyli skręcają światło spolaryzowane w przeciwnych kierunkach (za „prawoskrętne” przyjmujemy cząsteczki skręcające płaszczyznę polaryzacji światła w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara, za „leuoskrętne” – w przeciwnym). Takie substancje, różniące się czynnością optyczną, nazywamy izomerami optycznymi lub enancjomerami. Zjawisko izomerii optycznej odkrył w 1848 r. Ludwik Pasteur, wykonując tytaniczną pracę – pęsetką oddzielał on pojedyncze, różnie wyglądające kryształy kwasu winowego [4]. Następnie odkrył, że dwa izomery polaryzują światło w przeciwnych kierunkach, dokonując jednego z najważniejszych odkryć w chemii. Warto podkreślić, że oprócz cierpliwości, zacięcia i ogromnej precyzji pracy fizycznej, jaką wykonał oddzielając od siebie kryształy różnych kształtów, dokonał odkrycia mając utrudnione zadanie ze względu na obiekt, jaki wybrał. Otóż kwas winowy występuje... w trzech formach. Jedna z nich jest „prawoskrętna”, druga „leuoskrętna”, a trzecia jest tak zwaną formą mezo i nie powoduje skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła. Jest to związane z występowaniem w cząsteczce kwasu winowego dwóch centrów asymetrii (rys. 6).

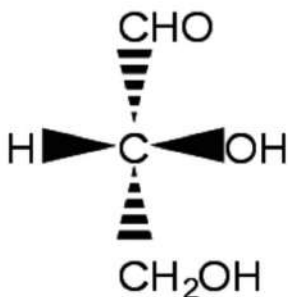


Rys. 6. Trzy odmiany kwasu winowego

Mieszanina racemiczna, czyli równomolowa mieszanina dwóch form optycznie czynnych, również nie wykazuje nigdy czynności optycznej. Proszę sobie więc wyobrazić, jak trudne zadanie miał Pasteur i docenić jego odkrycie!

Za odkryciem Pasteura przyszły następne – vant’ Hoff i Le Bel niezależnie ustalili, że cząsteczka jest chiralna, kiedy atom węgla połączony jest z czterema

różnymi podstawnikami. Wbrew pozorom, to bardzo częsta sytuacja w przyrodzie! Co więcej, liczba izomerów optycznych rośnie wykładniczo ze wzrostem liczby centrów asymetrii w cząsteczce. I tak, cząsteczka mająca jedno centrum asymetrii posiada dwa enancjomery, cząsteczka mająca dwa centra asymetrii ma ich już cztery, zaś cząsteczka z trzema centrami asymetrii ma aż osiem izomerów optycznych. Przy tak dużych liczbach możliwych kombinacji, rozróżnienie na prawo- i lewoskrętne izomery traci rację bytu. Wymyślono więc inne sposoby oznakowań tzw. konfiguracji absolutnej (albo bezwzględnej). Pierwszy, to tzw. konwencja D-L (albo Fischera), obecnie używana przede wszystkim w odniesieniu do aminokwasów i cukrów. Opiera się ona na cząsteczce aldehydu D-glicerynowego (rys. 7).



Rys. 7. Aldehyd D-glicerynowy (wiązania wyfłuszczone znajdują się nad płaszczyzną, kreskowane – pod płaszczyzną)

Każdy związek o takim ustawieniu podstawników jest izomerem D¹.

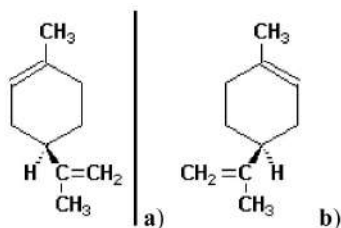
Drugi, to tzw. reguła Cahna, Ingolda, Preloga (R-S). Metoda ta jest bardziej uniwersalna i może być stosowana do każdej cząsteczki posiadającej centrum asymetrii. Jest to zbiór precyzyjnych reguł pozwalających ustalić pierwszeństwo podstawników i w zależności od niego ustalić konfigurację jako R albo S.

Co w praktyce wynika z istnienia form będących lustrzanymi odbiciami? Ostatecznie skręcanie płaszczyzny polaryzacji światła spolaryzowanego, nie jest czymś odczuwalnym dla przeciętnego człowieka...

Okazuje się, że izomery optyczne bardzo różnią się od siebie właściwościami. Możemy tu wrócić do naszego limonenu (rys. 5) i zapachu cytryny i pomarańczy. Otóż L-limonen ma ostry, terpenowy zapach cytryny, a D-limonen – łagodny zapach pomarańczy [5] (rys. 8).

Ciekawostką jest to, że ludzie wykazują dużo większą wrażliwość na zapach D-limonenu.

¹ Istnieją precyzyjne reguły dla każdej klasy cząsteczek, wyznaczające, które podstawniki bierze się pod uwagę przy wyznaczaniu konfiguracji cząsteczek.



Rys. 8. a) L-limonen; b) D-limonen

Przykładów chiralnych związków zapachowych jest mnóstwo – inny terpen, karwon, o budowie bardzo zbliżonej do limonenu, ma zapach mięty (L-karwon) lub kminku (D-karwon) [5]. Według niektórych źródeł, człowiek jest w stanie wyczuć zapach L-karwonu już przy jego stężeniu 2 ppb, czyli 2 cząsteczki na miliard!² Wrażliwość na D-karwon jest znacznie niższa ³.

Skąd takie różnice?

Otóż człowiek, na poziomie molekularnym, również jest chiralny. Wszystkie aminokwasy składające się na białka budujące ludzkie ciało mają konfigurację L. Wszystkie cukry, wchodzące w skład naszego organizmu mają konfigurację D. Helisa DNA jest zawsze prawoskrętna. Wszystkie organizmy wyższe zbudowane są z L-aminokwasów i często w podręcznikach można nawet znaleźć zdanie, że D-aminokwasy nie występują w przyrodzie.

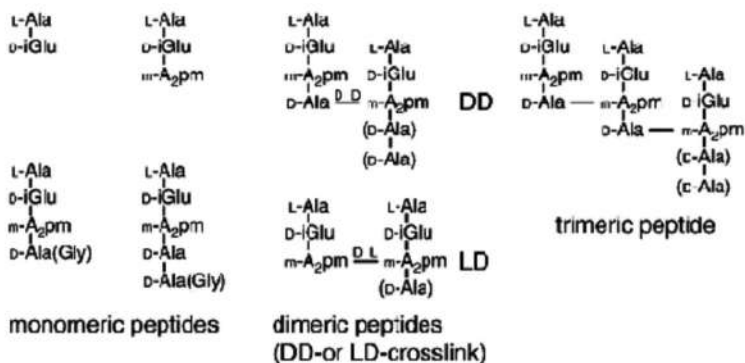
Jest to zresztą zdanie nieprawdziwe, D-aminokwasy są na przykład składnikami ściany komórkowej bakterii – wchodzą w skład peptydoglikanu, czyli inaczej mureiny [6] (rys. 9).

Nawet ten fakt budzi jednakże liczne dyskusje. Jedni naukowcy twierdzą, że występowanie obok siebie L-aminokwasów i D-aminokwasów w ścianach komórkowych bakterii jest dowodem na to, że pierwotnie życie zbudowane było z obu typów aminokwasów i było „racemiczne” a nie homochiralne i dopiero później nastąpił wybór L-aminokwasów. Inni naukowcy uważają, że przeciwnie, występowanie D-aminokwasów u bakterii jest wtórne, jest przystosowaniem ewolucyjnym, warunkującym większą odporność na enzymy proteolityczne gospodarza, rozpoznające tylko aminokwasy o konfiguracji L.

Tzw. homochiralność cząsteczek budujących życie stanowi jedną z największych zagadek nauki. Dlaczego życie zbudowane jest z cząstek tylko jednego rodzaju? Co zdecydowało o wyborze takiej właśnie orientacji? Czy możliwe byłoby życie zbudowane z cząstek racemicznych? I wreszcie – czy istnieje życie „lu-

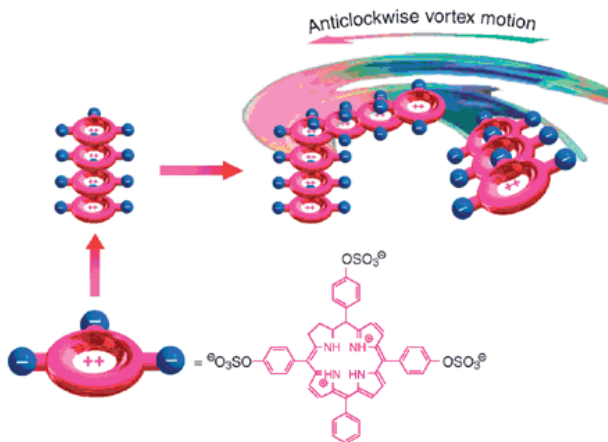
² Według innych źródeł 43 ppb.

³ Odpowiednio 85-130 ppb oraz 600 ppb.



Rys. 9. Krótkie peptydy wchodzące w skład mureiny – zbudowane zarówno z aminokwasów o orientacji L jak i D [6]

strzane” do naszego, a jeśli by istniało, czym by się różniło? Odpowiedzi na te pytania, w których każdy zresztą znajdzie coś dla siebie – i filozof i chemik kwantowy, nie ma, choć myślały i myślą nad nimi najtęższe głowy. Już Ludwik Pasteur próbował, bezskutecznie zresztą, wyindukować preferencje dla cząstek prawo- lub lewoskrętnych, przeprowadzając reakcje w wirówce [7]. Nawiasem mówiąc, po ponad stu latach Ribó i inni [8] dostarczyli dowodów na to, że mieszanie istotnie może wpłynąć na chiralność powstających struktur (rys. 10) [7].



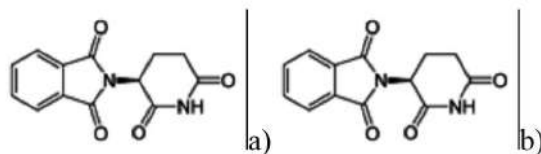
Rys. 10. W czasie eksperymentu roztwór porfiry jest powoli zatężany w czasie mieszania. Hierarchiczny model zakłada w pierwszym etapie agregację porfiry na skutek oddziaływań elektrostatycznych i tworzących się wiązań wodorowych, a następnie małe agregaty zaczynają tworzyć strukturę podobną do włókna. Orientacja tworzącej się struktury helikalnej jest w 85% przypadków odwrotna do kierunku mieszania [7]

Ten ciekawy eksperyment pokazuje, że pewne asymetrycznie działające siły mogą mieć wpływ na orientację struktur. Być może życie powstawało na asymetrycznym podłożu? Nie tłumaczy jednak doboru tylko „lewoskrętnych” aminokwasów i „prawoskrętnych cukrów”. Naukowcy dalej szukają odpowiedzi na te pytania – na ziemi i w kosmosie [9]. Niektórzy twierdzą wprost, że homochiralność jest dla nich dowodem na istnienie Boga [10].

Mimo tego, że żyjemy w XXI w. i potrafimy dolecieć na księżyc i sklonować ssaka, reakcje naśladujące procesy zachodzące w organizmach żywych wciąż stanowią olbrzymią trudność dla człowieka. Nawet przy obecnym stanie wiedzy bardzo trudno poza organizmami przeprowadzać reakcje, których produkty byłyby homochiralne. Wymagają one specjalnych technik syntezy asymetrycznej, co powoduje, że nawet najlepszy chemik nie potrafi zrobić tego wszystkiego, czego codziennie w swoim organizmie dokonuje byle pierwotniak. Naukowcy prześcigają się w sprawdzaniu metod, którymi mogą osiągnąć syntezę chiralną – wykorzystując do tego mieszanie, pole magnetyczne, światło spolaryzowane itd., i ostatecznie dochodzą do wniosku, iż synteza związków homochiralnych z mieszaniny racemicznej jest bardzo, bardzo trudna, ze względu na silny efekt entropowy [11]. Ludwik Pasteur, po swoich niepowodzeniach związanych z wszelkimi próbami zaktywizowania substancji nieczynnych optycznie środkami chemicznymi bronił poglądu, według którego produkcja pojedynczych, optycznie czynnych związków jest prerogatywą życia. W 1860 r. napisał: „To jest może jedyna wyraźna linia demarkacyjna, którą można w danej chwili przeciągnąć pomiędzy chemią martwej a żywej materii” [12].

To właśnie nasza homochiralność powoduje, że organizm ludzki w bardzo różny sposób reaguje na enancjomery tego samego związku. Przytoczone wcześniej przykłady dotyczyły związków zapachowych. Ale znacznie większe (i bardziej niebezpieczne) różnice związane są ze stosowaniem leków. Klasycznym i przywoływanym wszędzie ku przestrodze przykładem jest talidomid (rys. 11).

Lek, wynaleziony przez chemików z Chemie Grünenthal (RFN) w 1953 r. (choć nawet co do tego nie ma pewności, ostatnio pojawiły się poważne spekulacje, że tak naprawdę był to lek wynaleziony przez nazistów i testowany na więźniach



Rys. 11. a) (R)-talidomid; b) (S)-talidomid

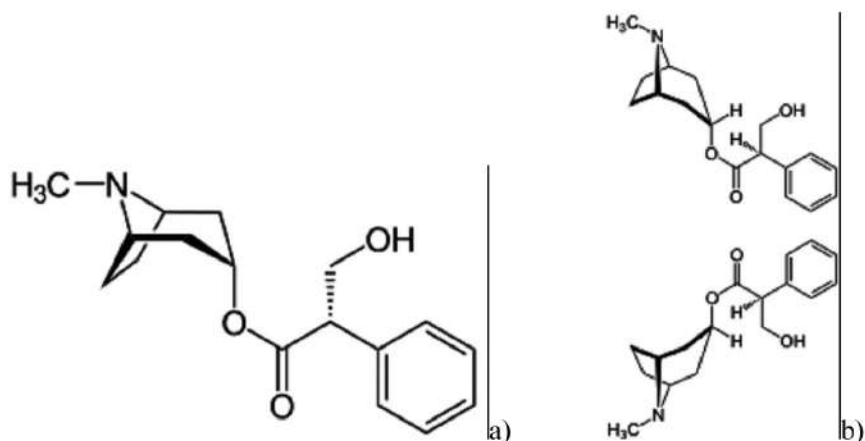
obozów koncentracyjnych [13]) został pod różnymi nazwami handlowymi zarejestrowany w ponad 50. krajach.

W latach 1957-1961 talidomid był sprzedawany jako lek na poranne nudności dla kobiet w ciąży. Pod koniec 1960 r. udowodniono, że lek ma silne działanie mutagenne na ludzkie płody, w szczególności, jeśli zażywany był w czasie pierwszych 50. dni ciąży. Niestety do tego czasu jego działaniu poddanych zostało ok. 15 tys. ludzkich płodów, z czego ok. 12 tys. zostało donoszonych, a ok. 8 tys. przeżyło pierwszy rok życia. Niemal wszyscy mieli zdeformowane ciała, większość z nich urodziła się bez kończyn. Ich dzieci dziedziczą po rodzicach uszkodzone DNA, a z nim – wadliwą budowę ciała [14]. Wszystko to spowodowane zostało błędami w przeprowadzeniu testów klinicznych (to właśnie m.in. po talidomidzie kryteria dopuszczania leków zostały zaostrzone) – otóż (R)-talidomid jest bezpieczny i ma działanie lecznicze, natomiast sprzedawana była mieszanina racemiczna obu enancjomerów. Nieprzetestowany enancjomer S nie okazał się ani obojętny dla organizmu, ani nieszkodliwy – wykazuje on bardzo silne działanie mutagenne i jest jedną z najsilniej teratogenicznie działających substancji. Naukowcy opracowali nawet syntezę asymetryczną, pozwalającą otrzymać tylko enancjomer działający leczniczo, jednak okazało się, że w organizmach żywych talidomid ulega stopniowej izomeryzacji i tym samym nie wiadomo, czy nawet podanie optycznie czynnego leku byłoby bezpieczne. W latach 90. XX w. odkryto, że talidomid ma cenne działanie terapeutyczne w przypadku niektórych nowotworów i mimo wielkich kontrowersji substancja ta ponownie została wpisana na listę leków.

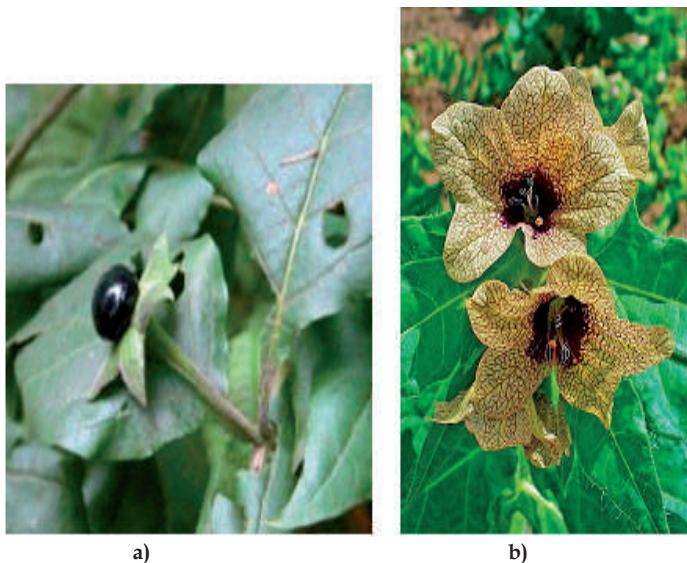
Oprócz tego, że dwa enancjomery mogą mieć zupełnie różne działanie na organizm ludzki, ich mieszanina, czyli racemat, może mieć jeszcze inny wpływ. Czasem różnią się na tyle, że nadaje się im wręcz inne nazwy. Przykładem mogą tu być atropina i hioscyamina, która jest niczym innym jak lewoskrętnym izomerem atropiny, o silniejszym działaniu (rys. 12).

Nazwa atropiny bierze się od pokrzyku wilczej jagody, czyli *Atropa belladonna*, jednej z roślin, w których tego alkaloidu jest wyjątkowo dużo (rys. 13).

Atropos to jedna z Mojr, greckiego odpowiednika Parek – ta najstarsza, która nożycami przecina nić ludzkiego żywota. Nazwa ta jest nieprzypadkowa – z atropiną nie ma żartów! Atropina, obok tojadu, była podejrzewana o otrucie wojsk Marka Antoniusza, o czym pisał Plutarch. Pomysł ten wykorzystali Szkoci – Buchanan w *Historii Szkocji* z 1582 r. przytacza opowieść o tym, jak żołnierze króla Szkocji, Duncana I, otruli całą duńską armię, najeżdżającą ich kraj, napojem z pokrzyku. Napój wywołał sen, a podczas snu Szkoci wymordowali



Rys. 12. a) Hioscyamina; b) Atropina



Rys. 13. a) Pokrzyk wilcza jagoda; b) Lulek czarny

Duńczyków. Belladonna była także wykorzystywana w napojach miłości podczas bachanaliów. Dymy z palenia belladonny w starożytnej Grecji były wykorzystywane do ekstaz religijnych (być może także do przepowiedni pytyjskich). Jest jednym z podstawowych składników tzw. maści wiedźmich. Dodać należy, że wiele zwierząt może spożywać wilczą jagodę bez żadnych skutków ubocznych – mają bowiem tropinoesterazy. Człowiek oraz zwierzęta domowe (także pies

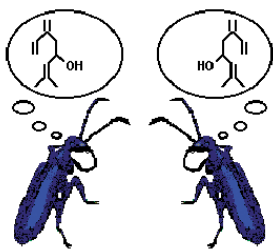
i kot) są bardzo podatne na zatrucie belladonna; u człowieka występują objawy zatrucia po spożyciu mięsa zwierząt, które zjadły pokrzyk. Atropina jest jednak także lekiem ratującym życie, używanym przy reanimacji. Ciekawostką jest to, że może być też odtrutką; na przykład przy zatruciu tojadem (akonityna), jedną z najsilniejszych trucizn roślinnych, o której nadworny medyk cesarza Austrii Anton F. Störck pisał: „...zawiera tak subtelną truciznę, że nawet trzymając w ręku przez długi czas, byle się zagrzała, przyprawia o śmierć”, to właśnie podanie atropiny może ocalić życie. Być może dlatego w maściach wiedzmiach występują one obok siebie...

Nazwa hioscyjminy pochodzi od łacińskiej nazwy lulka czarnego, *Hyoscyamus niger*. Jest to roślina znana co najmniej od XV w. p.n.e.; z tego czasu pochodzą wzmianki o nim w egipskich papirusach. Używany w starożytności jako środek znieczulający i oślepiający, podawany był skazańcom przed wykonaniem na nich wyroku śmierci. Hioscyjamina, w przeciwieństwie do atropiny, praktycznie nie jest wykorzystywana w medycynie z powodu zbyt silnego działania. Szacuje się, że potencjalnie izomer (S)-hioscyjminy ma działanie 30-krotnie silniejsze, niż izomer R [15].

Atropina i hioscyjamina występują także w mandragorze lekarskiej (*Mandragora officinarum*) oraz bieluniu dziedzierzawie (*Datura stramonium*). Ta pierwsza występuje nawet w Starym Testamencie. Pisał o niej Pliniusz, Szekspir, Machiavelli, Bocaccio, Goethe. Bieluni używany był niemal wszędzie: w Indiach (istnieje nawet specjalna profesja trucicieli bieluniem), w Ameryce (wchodził w skład rytualnego napoju Majów), w Afryce (używany w obrzędach przejścia), w Australii (do celów magicznych i hedonistycznych), w Europie. Bez przesady można powiedzieć, że atropina i hioscyjamina to najważniejsze alkaloidy w historii ludzkości. I różne właściwości przywoływanych tu roślin wynikają właśnie z różnych proporcji między alkaloidami, czyli w tym przypadku formami enancjomerycznymi⁴.

Oprócz innych właściwości, enancjomery różnią się także smakiem. Na przykład D-aminokwasy generalnie mają słodki smak, natomiast aminokwasy szeregu L oceniane są jako bez smaku albo gorzkie. Część aminokwasów była oceniona jako bez smaku, niezależnie od konfiguracji. Cysteina, kwas glutaminowy i metionina mają smak inny, nieporównywalny. Natomiast jako słodkie/gorzkie zostały zaliczone: alanina (i tu niespodzianka, enancjomer L jest słodki, D – bez smaku), histydyna (enancjomer D – słodki, L – bez smaku) oraz leucyna, feny-

⁴ Gwoli sprawiedliwości dodać należy, że obok atropiny i hioscyjminy w wymienionych roślinach występuje także pochodna hioscyjminy – skopolamina.



Rys. 14. W tej samej rzeczywistości a jednak po drugiej stronie lustra – dwa chrząszcze myślące o różnych enancjomerach ipsdienolu [18]

loalanina, tryptofan i tyrozyna (enancjomer L – gorzki, enancjomer D – słodki). Glicyna, niemająca izomerów optycznych, ma smak słodki.

Aminokwasy mają różną intensywność smaku, np. D-tryptofan jest 35 razy słodszy od cukru [16]!

Zagadnienie czynności optycznej cząsteczek biologicznych ma jeszcze wiele aspektów i można by przytaczać różne przykłady. Szczególnie, że sama przyroda jest niekonsekwentna i potrafi łamać własne prawa, ustanawiać wyjątki oraz sprawiać, że wcale nie trzeba wchodzić do lustra, jak Alicja, żeby zobaczyć lustrzaną rzeczywistość. I tak na przykład chrząszcz *Ips pini*, żyjący na zachodzie USA, produkuje jako feromon (R)-(-)-ipsdienol. Niestety na swoje feromony, choćby był najatrakcyjniejszym chrząszczem na świecie, nie poderwie upatrzonego osobnika tego samego gatunku ze wschodu USA, gdyż chrząszcze *Ips pini* zamieszkujące pas wschodni, jako feromon produkują (S)-(+)-ipsdienol [17] (rys. 14).

Trudno nam wyobrazić sobie świat po drugiej stronie lustra. Być może nie wyglądałby tak samo, bo coś, jakieś minimalne różnice energetyczne albo inny czynnik, zdecydowałyby, że powstałyby inne niż znane nam struktury? Ale nawet zakładając, że rzeczywistość materialna wyglądałaby na pozór tak samo, narażeni byłibyśmy na nieskończoną liczbę niespodzianek dotyczących smaków, zapachów i działania znanych nam substancji. A jednak z pewnością nie zaskoczyłoby nas to bardziej niż to, że machając do naszego odbicia w lustrze prawą ręką, odmachaloby ono ręką... prawą. Tak poczuli się naukowcy w styczniu 1957 r., kiedy jedno z praw świata, tzw. prawo parzystości, zostało złamane [19] (rys. 15). W 1956 r. dwóch amerykańskich fizyków, Tsung-Dao Lee i Chen Ning Yang przewidziało w pracy teoretycznej, że w rozpadzie beta może być łamana parzystość. W 1957 r. Chien Shiung Wu przeprowadziła badania rozpadu kobaltu 60, udowadniając brak istnienia parzystości w oddziaływaniach sła-

bych. (Odkrycie to było tak wielką rewolucją dla uczonych, że Wolfgang Pauli, jeden z największych fizyków XX w., ten sam, który sformułował zakaz Pauliego i przewidział teoretycznie istnienie neutrina, na wieść o złamaniu parzystości w oddziaływaniach słabych powiedział słynne zdanie: „Nie wierzę, by Bóg był słabym mańkudem” [19]). W tym samym roku Lederman przeprowadził eksperyment udowadniający niezachowanie parzystości w rozpadach pionów i mionów. W latach 50. ub.w. przeprowadzono wiele eksperymentów udowadniających, że istnieją tylko lewoskrętne neutrina (oraz prawoskrętne antyneutrina). Innymi słowy, neutrina po drugiej stronie lustra nie istniałoby... Nie mogłyby zachodzić rozpady cząstek. Nie zaistniałby świat...⁵. Dodatkowy problem z neutrinami zrodził się w 1998 r., kiedy udowodniono, że neutrina wykazują oscylacje, a więc poruszają się z prędkością mniejszą od prędkości światła, co oznacza, że muszą mieć masę różną od zera. Dlaczego w takim razie nie wykazują parzystości? Próbowano to wytłumaczyć na kilka sposobów; jednym z nich jest model Diraca, mówiący, że a) prawoskrętne neutrina oddziałują z materią 26 rzędów wielkości słabiej, niż lewoskrętne, b) prawoskrętne neutrina poruszają się w innym wymiarze.

Skomplikowane? Bardzo. A te wszystkie zagadnienia wynikają tylko i wyłącznie z istnienia luster... Być może kiedyś dowiemy się, czy istnieje lustrzany świat. Czy wygląda jak nasz, a tylko odbieralibyśmy go inaczej zmysłami? Czy jest zupełnie inny, zasiedlony przez inne struktury? A może nie istnieje tam życie, bo z jakiegoś powodu wybór enancjomerów D aminokwasów i L cukrów był chybiony? A może w ogóle nie istnieje tam nic, skoro nie ma neutrin? Jeśli komuś uda się przejść na drugą stronę lustra – bardzo proszę o informacje, jak tam właściwie jest...

Literatura

1. Krzyczkowska J., Bialecka-Florjańczyk E., Stolarzewicz I.: *Biotechnologiczne metody otrzymywania substancji zapachowych*, ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość 2009, **3** (64), 5-18.
2. <http://www.environmentalgraffiti.com/offbeat-news/ig-nobel-awards-wonbyextracting-vanilla-fragrance-and-flavour-from-cow-dung/314>.
3. <http://improbable.com/2007/10/05/the-2007-ig-nobel-prize-winners>.
4. Leffingwell J.C.: Chirality & Bioactivity I., Pharmacology, Leffingwell Reports 2003, **3**, 1-27.
5. Clarin T., Sandhu S., Apfelbach R.: *Odor detection and odor discrimination in subadult and adult rats for two enantiomeric odorants supported by c-fos data*. Behavioural Brain Research 2010, **206**, 229-235.

⁵ Z powodu tego, że neutrina łamie symetrię świata i nie ma swojego lustrzanego odbicia, niektórzy nazywają je wampirem – wampiry również nie są widoczne w lustrze...

6. Vollmer W., Bertsche U.: *Murein (peptidoglycan) structure, architecture and biosynthesis in Escherichia coli*. *Biochimica et Biophysica Acta* 2008, **778**, 1714-1734.
7. Feringa B.L.: *A New Twist on Chirality*. *Science* 2001, **292**, 2021-2022.
8. Ribó J.M., Crusats J., Sagues F., Claret J., Rubires R.: *Chiral Sign Induction by Vortices During the Formation of Mesophases in Stirred Solution*. *Science* 2001, **292**, 2063-2066.
9. Cronin J.R., Pizzarello S.: *Enantiomeric Excesses in Meteoritic Amino Acids*. *Science* 1997, **275**, 951-955.
10. http://www.godandscience.org/evolution/origin_homochirality.html.
11. Julian R.R., Myung S., Clemmer D.E.: *Do Homochiral Aggregates Have an Entropic Advantage?* *J Phys. Chem. B* 2005, **109**, 440-444.
12. Weyl H.: *Symetria*. Wyd. Prószyński i S-ka, Warszawa 1997, s. 35.
13. Foggo D.: *Thalidomide „was created by the Nazis”*, *The Sunday Times* 08 February 2009.
14. *Talidomid wraca po 50. latach pod inną nazwą*, *Gazeta Wyborcza*, 22.04.2008, <http://londyn.gazeta.pl/londyn/1,85424,5145004.html>.
15. Řičný J., Gualtieri F., Tuček S.: *Constitutive Inhibitory Action of Muscarinic Receptors on Adenylyl Cyclase in Cardiac Membranes and Its Stereospecific Suppression by Hyoscyamine*. *Physiological Research* 2002, **51**, 1, 131-137.
16. Solms J., Vuataz L., Egli R.H.: *The Taste of L- and D-Amino Acids*. *Cellular and Molecular Life Sciences* 1965, **12**, 12, 692-694.
17. Domingue M.J., Starmer W.T., Teale S.A.: *Genetic control of the enantiomeric composition of ipsdienol in the pine engraver Ips pini*. *J. Chem. Ecol.* 2006, **32 (5)** 1005-1026.
18. <http://www.chemical-ecology.net/>.
19. Lederman L., Teresi D.: *BOSKA CZĄSTKA. Jeśli Wszechświat jest odpowiedzią, jak brzmi pytanie?* Prószyński i S-ka 2005. Podaję za: <http://www.wiw.pl/fizyka/boskaczastka/Esej.asp?base=r&cp=1&ce=110>.

ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ POLSKIEGO PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO – WYZWANIA I BARIERY

GIETKA Anna, LUBIEWA-WIELEZYŃSKI Wojciech

Sytuacja europejskiego, w tym również polskiego przemysłu chemicznego na przestrzeni ostatniego dziesięciolecia uległa widocznej zmianie. Udział w rynku globalnym przemysłu Starego Kontynentu skurczył się na korzyść produktów wytwarzanych w krajach azjatyckich. W związku z wyczerpującymi się zasobami środowiskowymi istnieje konieczność równowagi pomiędzy trzema podstawowymi filarami: ekonomią, potrzebami natury społecznej oraz środowiskiem naturalnym. Przemysł chemiczny dostarcza materiałów, które pozwalają na zrównoważony rozwój społeczeństwom, a artykuł przekazuje przykłady wkładu przemysłu chemicznego w zrównoważony rozwój.

Przemysł chemiczny jest jedną z pierwszych gałęzi przemysłu, która przyjęła filozofię zrównoważonego rozwoju. Z inicjatywy *Canadian Producers Association*, w połowie lat 80. ub.w. sformułowany został program *Responsible Care*.

Europejski przemysł chemiczny, w tym również polski, w stosunku do przemysłów z innych regionów świata jest niskoemisyjny, efektywny energetycznie, bezpieczny z punktu widzenia zatrudnionych w nim osób, jednak paradoksalnie stawiane są przed nim wyzwania, które mogą się okazać nie do uniesienia nawet dla innowacyjnego przemysłu. Owo zagrożenie związane jest przede wszystkim z prawodawstwem unijnym, które zamiast podejścia zrównoważonego, proponuje jako środowisko naturalne centrum.

Słowa kluczowe: przemysł chemiczny, zrównoważony rozwój, konsumpcja chemikaliów, materiały termoizolacyjne, tworzywa sztuczne, produkty chemii gospodarczej, nawozy mineralne, odpowiedzialność i troska



SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE POLISH CHEMICAL INDUSTRY – CHALLENGES AND BARRIERS

GIETKA Anna, LUBIEWA-WIELEŻYŃSKI Wojciech

During the last decade, the situation of the European chemical industry, as well as of the Polish chemical industry, has changed markedly. The industry of the Old Continent has lost part of its share in the global market to Asian countries. Because the natural resources have depleting character the balance is necessary between three basic pillars: economy, needs of social nature and natural environment. This article shows that the chemical industry supplies materials which enable sustainable development of communities. Article presents how the industry itself attaches great importance to sustainable development, and point out to the contribution of the chemical industry to sustainable development.

One of the first branches of industry which adopted the approach of sustainable development was the chemical industry. On the initiative of the Canadian Producers Association, announced in the mid-1980s, the Responsible Care programme was charted.

The European chemical industry, including the Polish chemical industry, is in relation to industries in other parts of the world, a low emission, energy efficient and safe industry. Paradoxically it now faces challenges, which may prove too difficult to meet even for an innovative industry. The threat lies mainly in the Union legislation, which instead of supporting sustainable development, forces an environment-centred approach.

Keywords: chemical industry, sustainable development, consumption of chemicals, thermal insulation, plastics, household chemicals mineral fertilizers, responsible care

ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ

POLSKIEGO PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO – WYZWANIA I BARIERY

Anna GIETKA, Wojciech LUBIEWA-WIELEŻYŃSKI
– Polska Izba Przemysłu Chemicznego, Warszawa

Rezolucją 63. Zgromadzenia Narodów Zjednoczonych rok 2011 ogłoszony został Światowym Rokiem Chemii. Obchody służyć będą podkreśleniu znaczenia chemii jako nauki. Rok ten został wybrany ze względu na przypadającą w 2011 r. setną rocznicę przyznania Nagrody Nobla w dziedzinie chemii Marii Skłodowskiej-Curie.

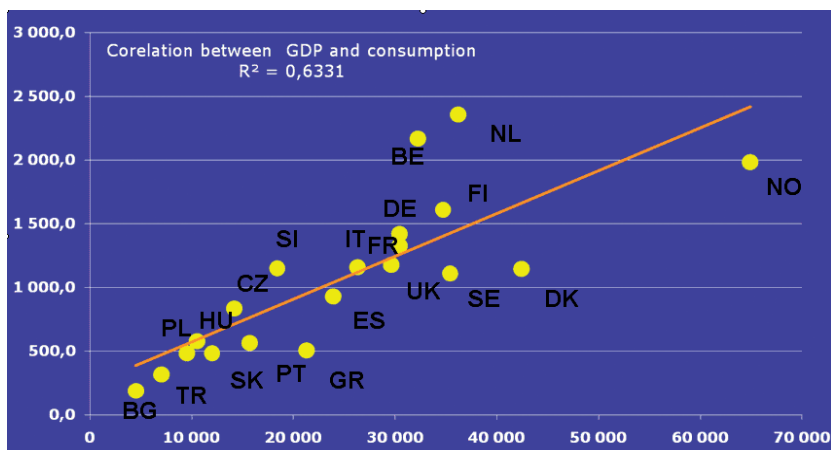
Sytuacja europejskiego, w tym również polskiego przemysłu chemicznego na przestrzeni ostatniego dziesięciolecia, uległa widocznej zmianie. Udział w rynku globalnym przemysłu Starego Kontynentu skurczył się na korzyść produktów wytwarzanych w krajach azjatyckich. Udział sprzedaży produktów chemicznych pochodzących z tej części świata w ciągu ostatnich dziesięciu lat podwoił się. Jeśli przyjrzymy się bliżej produkcji sprzedanej w ramach europejskiego przemysłu chemicznego, to wiodącą rolę mają takie kraje, jak: Niemcy, Francja, Wielka Brytania. Wartość sprzedaży tych trzech krajów wynosi ponad 50% całkowitej sprzedaży europejskiej branży chemicznej. Sprzedaż polskiego przemysłu chemicznego stanowi nieco ponad 2%.

Kryzys, który dotknął gospodarkę światową w ostatnich latach, nie ominął branży chemicznej. Z danych uzyskanych za lata 2007-2009 wyraźnie widać, jak niekorzystna koniunktura gospodarcza wpłynęła również na kondycję przemysłu chemicznego w Europie. Na rodzimym rynku sytuacja w branży chemicznej optymistycznie nastrajała w sferze produkcji farmaceutyków oraz produkcji wyrobów z gumy i z tworzyw sztucznych. Statystyki pokazują, że nastąpił wzrost produkcji sprzedanej w zestawieniu rok do roku za 2009. Polski przemysł chemiczny boryka się z dużym ujemnym saldem handlu zagranicznego, który w 2009 r. wyniósł – 7,2 mld EUR, czyli zmniejszył się ze względu na kryzys o 2 mld EUR w porównaniu do 2008 r., ale udział w całości deficytu handlu zagranicznego wzrósł do 80%. Wartość sprzedaży przemysłu chemicznego w 2008 r. stanowiła 10,6% (podobnie jak w latach ubiegłych) sprzedaży przemysłu ogółem.

Odwołując się do tytułu niniejszego artykułu, nie można nie przytoczyć definicji zrównoważonego rozwoju. Sięgnijmy do korzeni: początek słynnego zda-

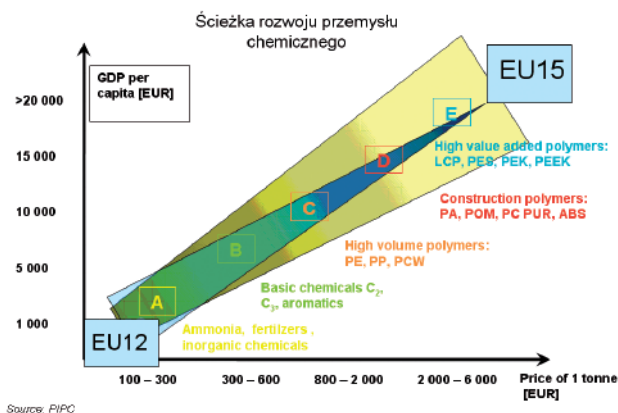
nia z raportu *World Commission on Environment and Development* z 1987 r. – „Nasza Wspólna Przyszłość” (*Our Common Future*, tzw. Raport Brundtland – od nazwiska przewodniczącej komisji, Gro Harlem Brundtland): „Na obecnym poziomie cywilizacyjnym możliwy jest rozwój zrównoważony, to jest taki rozwój, w którym potrzeby obecnego pokolenia mogą być zaspokojone bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na ich zaspokojenie.” Powyższe stwierdzenie w uproszczeniu oznacza, iż istnieje konieczność równowagi pomiędzy trzema podstawowymi filarami: ekonomią, potrzebami natury społecznej oraz środowiskiem naturalnym. Autorzy artykułu starają się udowodnić, iż przemysł chemiczny dostarcza materiałów, które pozwalają na zrównoważony rozwój społeczeństwom i przedstawiają, w jaki sposób sam przemysł przykłada wagę do zrównoważonego rozwoju, a także wskazują na wkład przemysłu chemicznego w zrównoważony rozwój.

Dostępne dane wskazują na istnienie korelacji pomiędzy konsumpcją chemikaliów przez społeczeństwo a stopniem jego zamożności. Spowodowane jest to częstym i wzrastającym wykorzystywaniem nowoczesnych materiałów, które są wyrobami dostarczonymi przez przemysł chemiczny. Zastosowania te, to przede wszystkim: materiały termoizolacyjne, tworzywa sztuczne używane w przemyśle motoryzacyjnym, budowlanym, produkty chemii gospodarczej, nawozy mineralne. W regionie Europy, największa konsumpcja chemikaliów jest w państwach skandynawskich, które wykazują jednocześnie najwyższy poziom PKB (2000-2500 EUR na głowę mieszkańca). W tym zestawieniu Polska znajduje się na dole wykresu – ponieważ na tle Europy nasz poziom PKB jest sto-



Rys. 1. Konsumpcja chemikaliów w zależności od wskaźnika PKB

sunkowo niski, to podobnie niska jest konsumpcja chemikaliów (na czwartym miejscu od końca). Na rysunku 1 zobrazowano korelację pomiędzy poziomem PKB na głowę mieszkańców danego państwa europejskiego w stosunku do poziomu konsumpcji chemikaliów. Polska Izba Przemysłu Chemicznego dysponuje również danymi, które wskazują, iż ze wzrostem gospodarczym, którego wskaźnikiem jest PKB na głowę mieszkańca, wzrasta udział bardziej przetworzonych i droższych chemikaliów w produkcji. Innymi słowy, im bogatszy kraj, tym jego produkcja przenosi się w obszary bardziej złożonych chemikaliów. Zależność tę obrazuje ścieżka rozwoju przemysłu chemicznego (rys. 2), na której polski przemysł chemiczny znajduje się pomiędzy punktami C i D.



Rys. 2. Ścieżka rozwoju przemysłu chemicznego

Można zatem z pewnością stwierdzić, że przemysł chemiczny dostarcza produktów i materiałów, które w społeczeństwach wysoko rozwiniętych są niezwykle istotne oraz wykorzystywane w wielu dziedzinach życia.

W ostatnich latach wiele mówi się o zmianach klimatycznych; temat ten stał się jednym z priorytetów polityki Unii Europejskiej. Emisja gazów cieplarnianych uznana została za przyczynę powstawania antropogenicznego efektu cieplarnianego, który ma negatywny wpływ na stabilność klimatu o znaczeniu globalnym. Przemysł chemiczny także w tym kontekście może okazać się niezwykle ważny; dostarcza bowiem produktów, które pozwalają znacznie ograniczyć emisję gazów cieplarnianych. Efekt taki umożliwiają materiały produkowane dla sektora budownictwa: termoizolacja pozwala na znaczne ograniczenia emisji gazów cieplarnianych dzięki zwiększeniu efektywności energetycznej budynków. Europejska Rada Przemysłu Chemicznego (CEFIC) szacuje, że na każ-

dą wyemitowaną tonę gazu cieplarnianego przy produkcji chemikaliów, można uniknąć emisji 3 ton gazu cieplarnianego w innych sektorach.

Znaczenie przemysłu chemicznego jest ogromne, zarówno dla poprawy komfortu życia, jak również z punktu widzenia bezpieczeństwa oraz ochrony klimatu. Jednak wizerunek branży chemicznej przez wiele lat nie był najlepszy. Przedstawiciele branży, także skupieni w krajowych i międzynarodowych organizacjach, podjęli decyzje o konieczności zmiany tego stanu rzeczy. Zdecydowanie zmieniło się podejście przemysłu chemicznego do kwestii środowiska.

Do niedawna termin „technologia” obejmował tylko proces produkcji zasadniczej. Obecnie i w przyszłości obejmował już będzie cały cykl życia produktu (*Life Cycle*) – od surowca oraz nośnika energii, poprzez produkcję półfabrykatów do zasadniczego procesu produkcji, aż do utylizacji odpadów poprodukcyjnych, serwisu i informacji na temat racjonalnego użytkowania, oraz utylizację i zagospodarowanie po zakończeniu życia produktu. Bezwzględne wymaganie nadzorowania i odpowiedzialności producenta za swoje wyroby, od momentu planowania, poprzez produkcję, aż do końcowego zagospodarowania, jest zjawiskiem stosunkowo nowym. Producent staje się więc, jak nigdy dotąd, odpowiedzialny za proces i za produkt, za bezpieczną produkcję i bezpieczne użytkowanie, za właściwe zagospodarowanie odpadów okołoprodukcyjnych, jak również zużytego produktu, przez cały okres życia produktu.

Jedną z pierwszych gałęzi przemysłu, która przyjęła filozofię zrównoważonego rozwoju, był przemysł chemiczny. Z inicjatywy *Canadian Producers Association*, ogłoszonej w połowie lat 80. ub. w., podjętej również przez przemysł amerykański, a potem stopniowo przez przemysł chemiczny innych krajów świata, sformułowany został program *Responsible Care*. W Polsce program przyjął nazwę „Odpowiedzialność i Troska” i jest wdrażany od 1990 r. Program *Responsible Care* określa rolę przemysłu w społeczeństwie i środowisku naturalnym, zawiera również zestaw zobowiązań dotyczących stałego doskonalenia procesów i produktów oraz utrzymywania i kreowania właściwych relacji z otaczającą przyrodą i społeczeństwem. Uczestnictwo w Programie jest dobrowolne. Każda z firm – realizatorów Programu poddawana jest systematycznej weryfikacji samodzielnej oraz zewnętrznej. Warto podkreślić, że działania w ramach Programu zdecydowanie wykraczają poza narzucone przez prawo standardy; prawo bezwzględnie obowiązuje każdego, w Programie chodzi dodatkowo o wykazanie własnej inicjatywy, i proponowanie rozwiązań, nienarzuconych przez prawo, a służących poprawie któregoś z obszarów zawartych w idei zrównoważonego rozwoju.

W świetle idei zrównoważonego rozwoju, również zagadnienia związane z efektywnością energetyczną nabierają coraz większej wagi. Dlatego stowarzyszenia przemysłu chemicznego podejmują działania, które mają służyć zwiększaniu świadomości przedsiębiorców w tym zakresie. Europejska Rada Przemysłu Chemicznego (CEFIC) zaproponowała projekt CARE+ jako swego rodzaju odpowiedź na Pierwszy Raport Grupy Wysokiego Szczebla ds. Konkurencyjności Przemysłu Chemicznego w Unii Europejskiej. Zostało tam zamieszczone stwierdzenie o potrzebie przeprowadzenia projektu pokazującego korzystne koszty zwiększanie efektywności energetycznej w branży chemicznej. Do projektu zaproszone zostały trzy państwa, które do tej pory nie podejmowały inicjatywy w tym zakresie na poziomie krajowym: Bułgaria, Włochy i Polska. Polskimi partnerami są: Polska Izba Przemysłu Chemicznego – jako koordynator projektu oraz Krajowa Agencja Poszanowania Energii SA.

Europejski przemysł chemiczny, w tym również polski, w stosunku do przemysłów z innych regionów świata, jest niskoemisyjny, efektywny energetycznie, bezpieczny z punktu widzenia zatrudnionych w nim osób. Paradoksalnie stawiane są przed nim wyzwania, które mogą się okazać zbyt trudne nawet dla innowacyjnego przemysłu. Zagrożenie związane jest przede wszystkim z prawodawstwem unijnym, które zamiast zrównoważonego rozwoju proponuje podejście, w którego centrum znajduje się środowisko naturalne. Idea zrównoważonego rozwoju kładzie silny nacisk na konieczność równowagi pomiędzy aspektami społecznymi, ekonomicznymi oraz środowiskowymi. Zakres regulacji przygotowywanych na forum Unii Europejskiej, które będą miały wpływ na funkcjonowanie branży chemicznej, nałoży na nią (według szacunków) ogromne koszty. Już w 2013 r., w związku z wdrożeniem w życie Zrewidowanej Dyrektywy o Handlu Emisjami, koszty ponoszone przez przemysł będą znaczące. Dodatkowo, po 2016 r. wejdzie w życie Dyrektywa o Emisjach Przemysłowych. W konsekwencji może okazać się, że funkcjonowanie energochłonnego przemysłu chemicznego, na terenie Europy jest niemożliwe. Ponieważ zapotrzebowanie na produkty chemiczne wzrasta wraz z rozwojem cywilizacyjnym, to może okazać się, że produkcja chemiczna przeniesie się do krajów pozaeuropejskich, gdzie często pojęcie i zasady zrównoważonego rozwoju praktycznie nie istnieją. Warunki pracy ludzi są złe, standardy ochrony środowiska zdecydowanie odbiegają od europejskich. W prawodawstwie polskim przygotowywana jest także regulacja dotycząca obłożenia podatkiem akcyzowym energii elektrycznej, wykorzystywanej w produkcji wysokoenergetycznych branż, co dodatkowo skomplikuje sytuację rodzimego przemysłu. Polski przemysł chemiczny jest

w wyjątkowo trudnej sytuacji w kontekście bazy surowcowej kraju. Wszystkie planowane regulacje pośrednio łączą się z bazą surowcową albo regulując standardy emisyjne wymuszają wykorzystanie konkretnych rodzajów paliwa lub surowców energetycznych.

Produkty przemysłu chemicznego są nieodłączną częścią społecznego rozwoju, podejście producentów zarówno w zakresie odpowiedzialności za same produkty jak i za proces produkcyjny zmienia się w kierunku coraz większej odpowiedzialności, zarówno za pracowników jak i za środowisko naturalne. Można zaryzykować stwierdzenie, że europejski przemysł chemiczny, w tym polski, jest liderem w podejmowaniu wyzwań środowiskowych w duchu zrównoważonego rozwoju. Dlatego funkcjonowanie tego przemysłu powinno być wspierane, motywowane, a nie ograniczane regulacjami, które nie są możliwe do zrealizowania bez konieczności balansowania na krawędzi przetrwania.

RYZIKO CHEMICZNE. OCENA I ZARZĄDZANIE

ZIELIŃSKI Stefan

W ciągu ostatnich lat nastąpił gwałtowny wzrost ilości stosowanych chemikaliów. Choć nie zdajemy sobie z tego sprawy, chemikalia stały się podstawą prawie we wszystkim, co robimy. Jednakże w powszechnym postrzeganiu przez społeczeństwo chemikalia są źródłem wszelkich możliwych chorób. Konsekwencją tego, mimo ograniczonej jeszcze wiedzy o szkodliwym działaniu wielu substancji, było wprowadzenie w krajach rozwiniętych systemów prawnych, których celem jest eliminowanie lub przynajmniej minimalizowanie ryzyka związanego z produkcją i użytkowaniem chemikaliów. Środkiem zapewniającym realizację takiego celu jest ocena ryzyka dla zdrowia ludzi, która jest procesem łączącym dostępne informacje o chemicznej toksyczności i ekspozycji, aby oszacować prawdopodobieństwo, że ktoś doświadczy niekorzystnych skutków zdrowotnych w wyniku ekspozycji na chemikalia. Celem jest scharakteryzowanie ryzyka dla zdrowia w zrozumiałym sposób, aby można było podjąć decyzję o znaczeniu chemicznej ekspozycji dla zdrowia ludzi i o potrzebie podjęcia działań dla kontroli stężeń chemikaliów. Ocena ryzyka i każde następne decyzje w zarządzaniu ryzykiem powinny brać pod uwagę zarówno potencjalne ryzyko jak i korzyści ze stosowania chemikaliów.

Słowa kluczowe: ryzyko chemiczne, ocena ryzyka chemicznego, zarządzanie ryzykiem chemicznym



CHEMICAL RISK. ASSESSMENT AND MANAGEMENT

ZIELIŃSKI Stefan

There has been a dramatic increase in the use of chemicals in recent years. Although we don't think much about it, man-made chemicals are essential to almost everything we do. However, the public perception is that man-made chemicals are the source of every possible ill. Consequently, in spite of our limited knowledge of the hazards to humans associated with many substances, most governments in the developed world have developed legislation aimed to eliminate or at least to minimise any risks associated with production and use of chemicals. One of the tools for that is the risk assessment for human health, which is a process that combines available information on chemical toxicity and exposure to estimate the probability that someone will experience adverse health effects as a result of exposure to a chemical. The goal is to characterize health risks in an understandable way, so that decisions can be made about the public health significance of chemical exposures and the need for taking action to control concentration of chemicals. The risk assessment and any consequent risk management decisions need to take into account both the potential risks from use and the benefits which chemicals bring.

Keywords: chemical risk, chemical risk assessment, chemical risk management

RYZYKO CHEMICZNE. OCENA I ZARZĄDZANIE

Stefan ZIELIŃSKI – Przewodniczący Rady Programowej
miesięcznika CHEMIK nauka·technika·rynek

Wstęp

Słowem ryzyko posługujemy się w wielu sytuacjach życia codziennego. Terminu tego używamy powszechnie na określenie wielu sytuacji lub stanów, jak: stan zagrożenia, możliwość wystąpienia zdarzenia nieprzewidzianego, możliwość poniesienia straty albo uzyskania wyniku odmiennego od oczekiwanego.

Najogólniej, ryzyko jest pewnym wskaźnikiem stanu lub zdarzenia, które może doprowadzić do strat. Potocznie jest rozumiane jako miara zagrożenia lub niebezpieczeństwa, wynikającego albo z prawdopodobnych zdarzeń od nas niezależnych, albo z możliwych konsekwencji podjęcia decyzji. Podejmując więc decyzję w sytuacji uznanej za ryzykowną, bierzemy pod uwagę zarówno możliwość (prawdopodobieństwo) wystąpienia takiego zdarzenia, jak i wielkość strat, które może ono spowodować. Im większa możliwość, czyli prawdopodobieństwo wystąpienia takiego zdarzenia oraz im większe mogą być straty, tym większe jest ryzyko. Taka ocena ma prowadzić do odpowiedzi na kluczowe pytanie: czy podjąć ryzyko i wkroczyć tym samym w sferę niebezpieczeństwa, czy też nie podejmować takiego ryzyka? Konieczność odpowiedzi na to pytanie dotyczy każdego z nas w sytuacjach życia codziennego; wtedy decyzję podejmujemy indywidualnie, najczęściej intuicyjnie, rzadziej opierając się na własnych doświadczeniach. Ta indywidualność odzwierciedla się w naszym podejściu do ryzyka. W konsekwencji, w naszych reakcjach na różne rodzaje ryzyka, w znacznym stopniu decydują czynniki psychologiczne, i niektóre obawy są bardzo specyficzne w stosunku do poszczególnych postaci ryzyka.

Problem ten znacznie komplikuje się, gdy znajdziemy się lub mamy się znaleźć w sytuacji ryzykownej, a decyzji o tym nie podejmujemy sami. Innymi słowy, gdy zostaniemy niejako zmuszeni do podejmowania ryzyka, niezależnie od naszej indywidualnej jego oceny. Takie sytuacje są cechą charakterystyczną współczesnego życia, w którym wiele z podejmowanych działań i decyzji jest postrzegana przez społeczeństwo jako związanych z ryzykiem. W rezultacie, coraz więcej ludzi jest zaniepokojonych ryzykiem. Widzą się oni bowiem jako narażeni

na poważne rodzaje ryzyka, bardziej aniżeli ludzie w przeszłości i przeważają opinie, że taki stan wciąż ulega bardziej pogorszeniu niż polepszeniu.

Jest to spowodowane coraz większym publicznym zainteresowaniem jakością życia, które ogólnie można określić jako przejaw pragnień związanych z życiem wolnym od niezamierzonego, czy niekontrolowanego ryzyka. Odzwierciedleniem tego są:

- społeczne żądania bezpieczniejszych warunków pracy, bardziej czystego środowiska, bezpieczniejszej żywności i produktów codziennego użytku
- wzrost częstości żądań o wyjaśnienie, czy działania w zakresie ryzyka są akceptowalne dla społeczeństwa
- zwiększony nacisk na nowe podejście w regulacjach prawnych dotyczących ryzyka.

Z drugiej natomiast strony, choć brzmi to paradoksalnie, społeczne oczekiwania i żądania podnoszenia poziomu życia wymagają, a nawet zmuszają, do wprowadzania nowych technologii i produktów. Nie zawsze jednak oznacza to zwiększenie bezpieczeństwa. W wielu bowiem przypadkach wiąże się to z nowym rodzajem ryzyka i nie jest możliwe eliminowanie zagrożenia przez odpowiednie środki bezpieczeństwa.

Ta rozbieżność pomiędzy koniecznością podejmowania ryzyka a nastawieniem społecznym, ma obecnie decydujący wpływ zarówno na samą ocenę ryzyka, jak i na decyzje o dalszym postępowaniu. Ocena ryzyka nie może już opierać się tylko na indywidualnych odczuciach czy doświadczeniach, lecz musi stosować techniki i metody, które przy obecnym stanie wiedzy oszacują rzeczywiste zagrożenie i wskażą sposoby jego eliminacji lub co najmniej zmniejszenia.

Ryzyko chemiczne

Jednym z elementów naszego życia, który w powszechnej opinii stwarza ryzyko dla zdrowia, a nawet życia ludzi, jest szeroko pojęta chemizacja życia i związana z tym obecność coraz większej ilości związków chemicznych w otaczającym nas świecie. Mimo iż wytwarzane przez człowieka chemikalia są używane powszechnie w codziennym życiu i dostarczają istotnych korzyści współczesnym społeczeństwom, to bardzo często uważa się, że są one źródłem każdej możliwej choroby, od różnego rodzaju alergii aż do chorób nowotworowych.

Zagrożenia chemiczne są więc postrzegane jako wiążące się z ryzykiem, którego szkodliwe efekty nie zawsze są dobrze znane, oddalone w czasie, niedobrowolne, ale narzucone. Taka sytuacja budzi społeczny niepokój i żądania napra-

wy stanu rzeczy. Obawy głównie koncentrują się na naturze i wielkości ryzyka związanego z chemikaliami, oraz na możliwym jego uniknięciu lub co najmniej zmniejszeniu.

Chociaż obawy te nie zawsze są uzasadnione, gdyż nie wszystkie chemikalia stwarzają zagrożenie, to nie można lekceważyć wzrastającego ich udziału w naszym życiu codziennym i możliwych niepożądanych skutków ubocznych. Wiele bowiem substancji, uważanych poprzednio za obojętne czy nieszkodliwe dla zdrowia, wywoływało jednak nieprzewidziane szkodliwe skutki. Jest więc oczywiste, że niezbędna jest ocena, jakiego rodzaju i jak duże zagrożenia stwarzają chemikalia i związane z tym ryzyko powstawania szkodliwych efektów. Konsekwencją tego, mimo ograniczonej jeszcze wiedzy o szkodliwym działaniu wielu substancji, w krajach rozwiniętych wprowadzono systemy prawne, których celem jest eliminowanie lub przynajmniej minimalizowanie ryzyka związanego z produkcją i użytkowaniem chemikaliów. Środkiem zapewniającym realizację takiego celu jest ocena ryzyka. Ocena taka musi być przeprowadzana zgodnie z aktualnym ustawodawstwem Unii Europejskiej, które przewiduje ocenę zagrożenia na każdym etapie produkcji i stosowania chemikaliów, a także dla różnych warunków kontaktu (ekspozycji) ludzi i środowiska na chemikalia, przede wszystkim w celu kontrolowania ich stężeń na bezpiecznym poziomie.

Rodzaje i źródła zagrożeń chemicznych

Zagrożenie chemikaliami wiąże się z faktem, że nie tylko z procesów produkcyjnych, ale także z produktów, związki chemiczne mogą wnikać do środowiska. W rezultacie, wraz z produktami ich rozkładu, w coraz większych ilościach pojawiają się w powietrzu, wodzie i glebie, skąd mogą wnikać do łańcucha pokarmowego ludzi. Ponadto, niektóre z tych związków są bardzo trwałe i mogą być przenoszone na znaczne odległości od źródła emisji. Taka sytuacja stwarza zagrożenia, które mogą pojawiać się na wielu obszarach, a zagrożone są populacje ludzkie i środowisko.

Cechą charakterystyczną chemikaliów jest nie tylko możliwość wywoływania szkodliwych efektów u ludzi, czy składników środowiska, ale także charakter takich oddziaływań. Są one z natury specyficzne, tzn. wywołują określone efekty, a także:

- mogą wystąpić zarówno w bezpośrednim sąsiedztwie źródła emisji, jak i w znacznej od niego odległości

- mogą wystąpić natychmiast albo dopiero pewnym czasie (np. dzięki zdolności samoobronnych organizmu)
- różne grupy ludzi lub gatunki zwierząt w środowisku mogą być narażone w inny sposób
- jeżeli dotyczą przyszłości, to są związane z określonym prawdopodobieństwem wystąpienia, ale nie ma pewności, ani co do wystąpienia w ogóle, ani co do efektów oddziaływań
- niektóre oddziaływania są nieodwracalne w skutkach, a inne mogą być odwracalne naturalnie lub sztucznie.

Ostateczny efekt będzie więc wynikiem kombinacji cech specyficznych i charakteru oddziaływań.

Ocena ryzyka chemicznego

Cele i zakres oceny ryzyka chemicznego

Ogólnym celem oceny każdego rodzaju ryzyka jest znalezienie odpowiedzi na pytania:

1. Jak prawdopodobne jest wystąpienie danego zdarzenia?
2. Jeżeli zdarzenie wystąpi, to jak szkodliwe byłoby w ujęciu ilościowym?

W ocenie ryzyka wywołanego substancjami chemicznymi przyjmuje się, że związane z nimi zagrożenie już wystąpiło lub wystąpi w przyszłości, tzn. przy założeniu, że dane substancje już są lub będą stosowane. Wobec tego nie określa się prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia substancjami chemicznymi, lecz określa się wielkość istniejącego lub przewidywanego zagrożenia, i porównuje z zagrożeniem, które nie wywołuje ujemnych efektów.

Ryzyko związane z substancjami chemicznymi zależy od następujących czynników:

- ilości związku chemicznego w produkcie lub w medium środowiskowym (woda, powietrze, gleba)
- czasu kontaktu (ekspozycji) człowieka z produktem lub zanieczyszczonym medium środowiskowym
- toksycznych właściwości związku chemicznego.

Ocena ryzyka dla zdrowia ludzi przy zagrożeniach chemicznych ma oszacować naturę i możliwość wystąpienia ujemnego efektu zdrowotnego u ludzi, którzy mogą być narażeni na ekspozycję chemikaliów w produktach lub mediach środowiskowych, teraz lub w przyszłości.

Aby to wyjaśnić, ocena ryzyka musi więc dać odpowiedź na szereg pytań, np.:

- Na ekspozycję jakich związków chemicznych są lub będą narażeni ludzie, a także przy jakim poziomie stężeń i jak długo?
- Jakiego typu problemy zdrowotne mogą wynikać z używania rozważanych związków chemicznych?
- Czy istnieje poziom stężeń, poniżej którego dane związki chemiczne nie powodują ryzyka dla zdrowia?
- Czy są ludzie, lub grupy ludzi, bardziej podatne na działanie rozważanych związków chemicznych, biorąc pod uwagę takie czynniki, jak: wiek, genetyka, występujące uprzednio warunki zdrowotne, praktyki etniczne, płeć itp.?
- Czy są ludzie, lub grupy ludzi, bardziej podatne na narażenie na dane związki ze względu na takie czynniki, jak: miejsce pracy i odpoczynku, dieta itp.?

Odpowiedzi na takie pytania pomagają zrozumieć i ocenić znaczenie chemicznej ekspozycji i związanego z tym ryzyka dla zdrowia ludzi. Mają też dostarczyć informacji o potrzebie i rodzaju działań ochronnych.

Zakres i natura oceny ryzyka są bardzo szerokie – od oddziaływań na duże populacje ludzi (np. w skali ogólnokrajowej) aż do oddziaływań w specyficznych warunkach lokalnych. Niektóre z ocen są retrospektywne, tzn. skupiające się na uszkodzeniach czy szkodach już po fakcie ich wystąpienia; inne podejmują próby przewidzenia możliwych przyszłych zagrożeń dla zdrowia ludzi lub środowiska, np. jakie jest oczekiwane ryzyko, jeśli nowy pestycyd zostanie zaaprobowany do stosowania w uprawie.

Obowiązująca procedura oceny ryzyka chemicznego¹

Na ocenę ryzyka związanego z substancjami chemicznymi składają się cztery kolejne etapy: (1) identyfikacja zagrożenia, (2) ocena zależności dawka-efekt, (3) ocena ekspozycji i (4) charakterystyka ryzyka.

1. Identyfikacja zagrożenia

Wykorzystując dostępne dane, identyfikuje się potencjalne szkodliwe efekty zdrowotne, które dana substancja może wywoływać. Pod uwagę bierze się efekty związane zarówno z toksycznymi jak i fizykochemicznymi właściwościami

¹ Obowiązująca w Unii Europejskiej kontrola poziomu ryzyka dla substancji chemicznych zawarta jest w Rozporządzeniu (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18.XII.2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), a procedura przeprowadzania oceny ryzyka w *Technical Guidance Document on Risk Assessment*, Brussels: The European Commission, 2003.

substancji. Identyfikuje się zagrożenie związane z następującymi grupami potencjalnych efektów:

- podrażnienia
- uczulenia
- działania żrące
- toksyczność ostra (po jednorazowej ekspozycji)
- toksyczność na dawki długotrwałe
- kancerogenność
- mutagenność
- toksyczność dla reprodukcji.

Rodzaje efektów określa się na podstawie odpowiednich testów (dotyczy to zwłaszcza substancji nowych); można również wykorzystać dostępne bazy danych.

2. Ocena zależności dawka (stężenie) – efekt (odpowiedź)

Po zidentyfikowaniu zagrożenia, kolejnym etapem jest określenie zależności pomiędzy dawką (ilością substancji pobranej w określonym okresie) lub poziomem ekspozycji (bezpośrednim kontaktem w określonym okresie) na daną substancję a zakresem oraz ostrością wywołanego przez nią efektu lub odpowiedzi organizmu.

Ze względu na działanie chemikaliów na organizm, można je podzielić na dwie grupy. Do pierwszej zalicza się takie, w przypadku których uważa się, że powodowane przez nie ujemne skutki zdrowotne nie ujawniają się, dopóki dana substancja lub aktywny metabolit nie osiągną progowego stężenia w odpowiednim organie. Osiągnięcie takiego stężenia jest związane z poziomem ekspozycji organizmu (człowieka lub testowanego zwierzęcia) na daną substancję. Innymi słowy, musi zostać osiągnięty progowy poziom ekspozycji zanim wywołany zostanie efekt. Dla tych chemikaliów celem tego etapu jest wyznaczenie progowych wartości dawki lub stężenia. Określa się je z wykresu dawka-efekt, obrazującego zależność pomiędzy wielkością dawki a wielkością wywołanych zmian biologicznych, np. zmiany wagi ciała, ciśnienia krwi, poziomu enzymów wytwarzanych przy wrastającej dawce czy zwiększenie podrażnienia skóry.

Wykorzystuje się do tego wszystkie dostępne dane o zależności dawka (stężenie) – efekt, a więc:

- dane otrzymane z udziałem ludzi (testy, dane z ekspozycji ludzi zawodowo narażonych, raporty z wypadków itp.)

- dane otrzymane bez udziału ludzi (testy na zwierzętach)
- zależność między strukturą związku a jego aktywnością.

Przy określaniu wartości progowych uwzględnia się prawdopodobne drogi, czas trwania i częstotliwości ekspozycji. W zależności od celu i zakresu oceny, może również wystąpić konieczność określenia ich dla wszystkich, lub wybranych, grup społecznych, jak pracownicy, konsumenci, ludność narażona *via* środowisko drogami pośrednimi, a nawet takich grup, jak osoby starsze, dzieci, czy kobiety w ciąży.

Do drugiej grupy zalicza się związki, które wywołują ujemne skutki przy każdej dawce lub stężeniu, tj. nie charakteryzujących się wartością progową. Zaliczają się do niej związki, które oddziałują poprzez mechanizmy, dla których nie można zidentyfikować wartości progowych (kancerogenność, mutagenność, toksyczność dla reprodukcji). Dla takich związków wyznacza się zależności dawka (stężenie) – odpowiedź, którą w tym przypadku jest liczba osobników w testowanej populacji wykazujących dany efekt, np. liczba osobników zmarłych, czy osobników ze zmianami nowotworowymi. Zależność tę można więc zdefiniować jako wykres prawdopodobieństwa wystąpienia efektu od dawki.

3. Ocena ekspozycji

Przez ekspozycję rozumie się bezpośredni kontakt organizmu z chemicznym, fizycznym lub biologicznym czynnikiem, i określa ilością danego czynnika wchłoniętą przez organizm. W przypadku związków chemicznych odpowiada to ilości substancji wchłoniętej z pokarmem, w tym również z wodą, całkowitej ilości substancji w kontakcie ze skórą (obliczana z ilości w kontakcie z jednostkową powierzchnią) oraz, zależnie od potrzeb, albo ilości wchłoniętej z powietrzem przez oddychanie albo jej stężeniu w powietrzu. Jeżeli ekspozycja zachodzi na wielu drogach, np. z wdychanym powietrzem i pożywieniem, należy określić całkowite obciążenie organizmu. Ekspozycję rozpatruje się jako pojedyncze zdarzenie, serię zdarzeń (w tym częstotliwość i czas trwania) albo jako ekspozycję ciągłą.

Ocena ekspozycji polega na oszacowaniu dawki substancji, na którą dana populacja jest lub może być narażona. Te populacje mogą być tak ogólne, jak społeczeństwo jako całość, dla pewnych szeroko rozprowadzanych materiałów (np. dodatki do żywności, środki higieny osobistej, artykuły chemii gospodarczej) lub tak ograniczone, jak pewne grupy użytkowników lub pracowników (np. produkujących lub stosujących pestycydy).

Pytania podnoszone w analizie ekspozycji uwzględniają prawdopodobne źródło zanieczyszczenia (gazy ze spalarni, strumienie ścieków z fabryki, stosowanie pestycydów), jego stężenie w źródle emisji, jego drogi rozprzestrzeniania się w środowisku (media środowiskowe, produkty) – od źródła do narażonej populacji, i aktualny poziom w narażonym organizmie. Ocena ekspozycji wykorzystuje wiele rodzajów informacji, w tym również dotyczące stylów życia danej populacji ludzi.

Pod uwagę bierze się następujące populacje ludzi (przyjmując przy tym, że każda z nich może być narażona poprzez wdychanie, drogę pokarmową oraz kontakt ze skórą): pracownicy, konsumenci, ogół ludności, na obszarze objętym oceną.

Pracownicy

Stosunkowo najmniejsze trudności sprawia ocena ekspozycji w miejscach związanych z produkcją dla ludzi zawodowo związanych z zagrożeniami chemicznymi. Dotyczy ona bowiem niewielkiej, względnie mało zróżnicowanej wiekowo i zdrowotnie populacji. Chociaż w takich warunkach substancja może wnikać do organizmu przez układ oddechowy, pokarmowy czy w kontakcie ze skórą, to rzeczywiste drogi wnikania, podobnie jak i ilość wchłanianej substancji, są lub mogą być na ogół dobrze zidentyfikowane. Praktycznie są to układ oddechowy i kontakt ze skórą, a ilość wchłanianej substancji i czasowa charakterystyka ekspozycji są łatwe do wyznaczenia z danych pomiarowych.

Konsumenci

Drugą grupą narażoną na działanie substancji chemicznych są konsumenci. Konsument, tj. członek społeczności lokalnej, regionalnej czy nawet krajowej, dowolnego wieku, płci i stanu zdrowia, może być narażony na ekspozycję przez stosowanie, czy użytkowanie, produktów dostępnych na rynku. Produktami mogą być zarówno same substancje chemiczne jak i wyroby je zawierające, a ten sam produkt, czy substancja, mogą być użyte do więcej niż jednego celu. Przyjmuje się również, że u konsumentów możliwe są wszystkie rodzaje ekspozycji, tj. przez inhalację, kontakt ze skórą oraz drogą pokarmową. Wynika stąd, że ocena ekspozycji konsumentów jest bardzo ograniczona, gdyż nie ma możliwości ani jej monitorowania, ani kontrolowania po sprzedaży produktu. Z tego

względu do oceny ekspozycji mogą być wykorzystane tylko takie dane, które charakteryzują sytuacje przeciętne. Do niezbędnych danych należą:

1) dane dotyczące kontaktów z produktem:

- częstotliwość używania produktu
- jednorazowy czas używania produktu
- miejsce używania produktu, włączając wielkość pomieszczenia i szybkość wymiany powietrza,

2) dane dotyczące stężeń:

- udział masowy substancji w produkcie
- stężenie substancji w produkcie przy danym sposobie jego używania, np. po rozcieńczeniu lub odparowaniu,

3) dane o używaniu produktu:

- postać fizyczna produktu (gaz, ciecz, proszek, kryształy, aerozolitp.)
- ilość produktu zużywana jednorazowo
- powierzchnia kontaktu z produktem
- zamierzone użycie produktu,

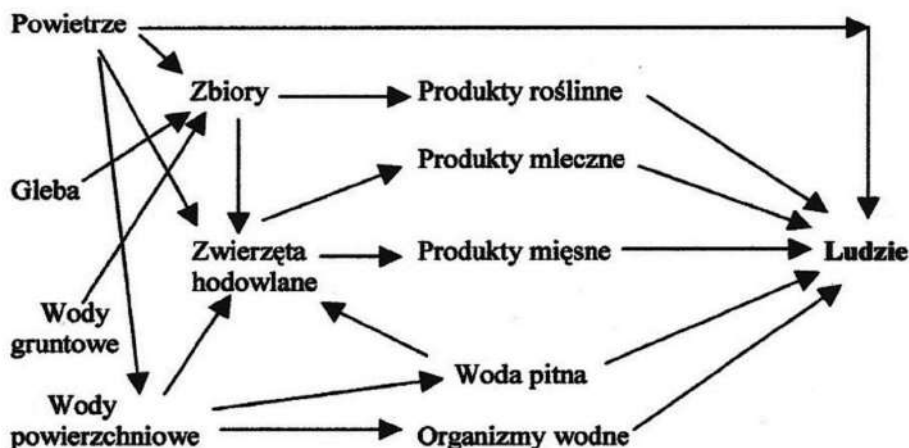
4) możliwość ekspozycji innych osób, w tym zwłaszcza dzieci, podczas używania produktu.

Różnorodność produktów, i ich zastosowań, powoduje, że niezbędne dane dotyczące wartości ekspozycji są najczęściej niedostępne, a w najlepszym przypadku fragmentaryczne i niepewne. Dlatego przy ich wykorzystywaniu zawsze bierze się pod uwagę:

- czy dane pomiarowe są reprezentatywne dla ekspozycji całej badanej grupy konsumentów?
- czy odzwierciedlają rzeczywisty scenariusz ekspozycji?
- czy opisują dające się przewidzieć użycie produktu?
- czy odzwierciedlają cały zakres przewidywanych ekspozycji, czy tylko jego część lub pojedynczą wartość?

Ludzie narażeni drogami pośrednimi via środowisko

Równie duże, jeżeli nie większe, trudności nastęrcza oszacowanie ryzyka dla ludzi drogami pośrednimi przez środowisko. Ekspozycja może bowiem występować przez konsumpcję żywności (wyroby mięsne, zbożowe, mleczne, ryby, owoce, warzywa itd.), wody pitnej i drogą oddechową. Różne drogi ekspozycji zilustrowano na schemacie 1.



Schemat 1. Schemat dróg ekspozycji ludzi drogami pośrednimi przez środowisko

Ze schematu 1 widać, że kluczowe są stężenia w powietrzu, glebie, wodach gruntowych i powierzchniowych. Są to bowiem komponenty środowiska, do których wprowadza się zanieczyszczenia oraz z których przenikają one różnymi drogami do organizmu człowieka. Wartości tych stężeń można otrzymać z bezpośrednich pomiarów, jednak najczęściej oblicza się je za pomocą dostępnych modeli, wykorzystujących właściwości fizykochemiczne substancji, w tym zwłaszcza współczynniki podziału międzyfazowego. W obliczeniach uwzględnia się fakt, że na wartości stężeń w pobieranych mediach wpływają nie tylko stężenia w wyjściowych ośrodkach środowiska, ale także ścieżki i dynamika przenikania substancji do innych ośrodków oraz reakcje i przemiany, którym one wtedy ulegają. Ekspozycję określa się według następującej procedury:

- oszacowanie stężenia substancji w pobieranych mediach (żywność, woda pitna, powietrze)
- oszacowanie dziennego poboru każdego z mediów
- obliczenie ilości substancji pobieranej z każdym z mediów.

Ekspozycja przez drogi oddechowe

Ta droga ekspozycji może mieć znaczący udział w ekspozycji całkowitej dla związków lotnych. Ich stężenie w powietrzu może być albo zmierzone, albo obliczone z modeli rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń gazowych w atmosferze. Natomiast dla objętości wdychanego powietrza przyjmuje się wartości typowe dla różnych rodzajów aktywności oraz poszczególnych grup wiekowych.

Należy jednak zaznaczyć, że istotny wpływ (oprócz stężeń) na ilość substancji wnikażącej tą drogą do organizmu ma rzeczywisty scenariusz ekspozycji, tj. czy jest to ekspozycja ciągła, krótkotrwała, całoroczna, sezonowa itp.

Ekspozycja przez wodę pitną

Woda pitna może być przygotowywana z obydwu rodzajów wód, gruntowych lub powierzchniowych, i obydwa te rodzaje mogą być zanieczyszczone – wody gruntowe związkami wypłukiwanymi z powierzchniowych warstw gleby, a wody powierzchniowe bezpośrednio lub pośrednio wprowadzanymi związkami chemicznymi. Przy niedostatecznej sprawności metod oczyszczających i niedostatecznej kontroli, mogą one przenikać do systemów sieci wodociągowej (szczególnie dotyczy związków organicznych).

Ilość przyjmowanej wody przyjmuje się na poziomach typowych dla poszczególnych grup wiekowych. Np. dla osób dorosłych wartością średnią jest 2 dm³/dobę, natomiast dla dzieci odpowiednio niższą, zależnie od wieku.

Ekspozycja przez żywność

Bezpośrednie pomiary stężeń w produktach żywnościowych, chociaż technicznie nieprzedstawiające trudności, są mało przydatne i tylko w nielicznych przypadkach mogą być wykorzystane do oceny ekspozycji. Przyczyną tego są znaczne rozbieżności w danych pomiarowych dla tych samych produktów. Dlatego, do oszacowania stężenia w produktach żywnościowych wykorzystuje się dostępne modele, które na podstawie stężeń w powietrzu, wodzie lub glebie pozwalają obliczyć stężenie w produkcie. W modelach, oprócz stężeń w podstawowych komponentach środowiska, wykorzystuje się dodatkowe parametry charakteryzujące proces przenikania związków chemicznych do produktu.

Znaczne trudności sprawia oszacowanie ekspozycji dla produktów roślinnych, które stanowią główną masę żywnościową zarówno ludzi jak i zwierząt. Wynikają one z ogromnej różnorodności uprawianych roślin i owoców, różnych warunków ich ekspozycji na substancje chemiczne, zróżnicowanym poborze substancji ze środowiska przez poszczególne partie rośliny oraz z różnych fragmentów roślin wykorzystywanych jako pożywienie. Dlatego też stężenia w materiale roślinnym oblicza się za pomocą współczynników podziału danej substancji, jako wartości przeciętne dla określonych grup roślin lub ich fragmentów.

Ze względu na zróżnicowanie ilościowego i jakościowego składu przyjmowanych pokarmów, do oceny dziennej dawki całkowitej, czyli ekspozycji na daną substancję, przyjmuje się pewien standardowy koszyk żywieniowy.

Ogólnie biorąc, metody oparte na modelach, z uwagi na niedostateczną znajomość i brak danych o procesach przenikania, dają wartości szacunkowe, bardzo często obciążone dużym stopniem niepewności. Nie mniej jest to w wielu przypadkach jedyna droga do oszacowania ekspozycji przez produkty żywnościowe.

Z przedstawionej procedury widać, że ocena ekspozycji jest głównym, a jednocześnie sprawiającym największe trudności, etapem oceny ryzyka. Źródłem trudności jest nie tylko różnorodność obiektów i sytuacji, lecz także bardzo często zbyt mała ilość lub zupełny brak danych. Ponieważ na ekspozycję mogą być narażone różne populacje ludzi (pracownicy, konsumenci, ogół ludności na danym obszarze), należy określić poziomy ekspozycji (stężenia) dla każdej z nich, a często nawet dla sub-populacji w ich obrębie. Należy brać pod uwagę takie czynniki, jak: częstotliwość i czas trwania ekspozycji, ścieżkę ekspozycji, praktyki i zwyczaje ludzi itp. Ponadto, należy również uwzględnić przestrzenną skalę ekspozycji (personalną/lokalną/regionalną). W rezultacie, najczęściej otrzymuje się nie jedną wartość, lecz zakres poziomów ekspozycji. Ważne jest jednak, aby znalezione poziomy odzwierciedlały sytuację, którą opisują.

4. Charakterystyka ryzyka

W tym etapie dokonuje się oceny zakresu i ostrości prawdopodobnych ujemnych efektów w danej populacji ludzi, wynikających z aktualnej lub przewidywanej ekspozycji na daną substancję.

Chociaż każdy z poprzednich etapów analizy wykorzystuje wszystkie dostępne dane i informacje opisujące rodzaj zagrożenia, zależność dawka-efekt i ekspozycję, to żaden nie dostarcza konkluzji o ogólnym ryzyku. To zadanie jest zarezerwowane dla końcowego etapu, w którym wszystkie informacje, dane i wnioski z poprzednich etapów są analizowane wspólnie, w celu scharakteryzowania ryzyka, tj. opisanego w pełni oczekiwanego ryzyka, przez sprawdzenie przewidywanych ekspozycji dla warunków rzeczywistych i rzeczywistego zagrożenia w świetle informacji uzyskanych w badaniach.

W tym celu dokonuje się porównania ilościowej informacji o przewidywanej ekspozycji z wartością stężenia lub dawki niewywołującej jeszcze szkodliwego efektu. Porównanie przeprowadza się oddzielnie dla każdej populacji narażonej

na ekspozycję i dla każdego szkodliwego efektu. Należy przy tym skupiać się na tych efektach, które mogą objawić się przy przewidywanych poziomach ekspozycji. Możliwe są dwa przypadki:

1. Przewidywana ekspozycja jest niższa od wartości progowej

$$\frac{\text{Przewidywana ekspozycja}}{\text{Wartość progowa}} < 1$$

2. Przewidywana ekspozycja jest równa lub wyższa od wartości progowej

$$\frac{\text{Przewidywana ekspozycja}}{\text{Wartość progowa}} = 1 \text{ lub } > 1$$

Jeżeli przewidywana ekspozycja jest niższa od wartości progowej (przypadek 1), to w zasadzie można przyjąć, że zagrożenie nie występuje. Trzeba jednak rozważyć, czy margines bezpieczeństwa jest wystarczający. Bierze się przy tym pod uwagę takie elementy, jak: niepewność związana z jakością wykorzystanych danych, natura i intensywność efektu, rodzaj narażonej populacji, charakter ekspozycji (droga, czas trwania, częstotliwość).

W przypadkach, gdy przewidywana ekspozycja jest równa lub wyższa od wartości progowej (przypadek 2), należy podjąć działania w celu eliminowania, redukcji lub w jakiś inny sposób rozwiązania problemów związanych z ocenianym ryzykiem. Najczęściej zaleca się redukcję ryzyka przez wprowadzenie środków zmniejszających ekspozycję. Można jednak w pewnych sytuacjach próbować, zwłaszcza przy dużych dawkach progowych i niewielkich przekroczeniach oraz niepewnych danych, ponownie przeprowadzić ocenę ekspozycji opierając się na dodatkowych danych.

Zarządzanie ryzykiem chemicznym

Ocena ryzyka dostarcza informacji o potencjalnym ryzyku dla zdrowia ludzi lub środowiska, natomiast termin „zarządzanie ryzykiem” określa działania podejmowane w celu ich ochrony.

Dla zagrożeń chemicznych, zarządzający ryzykiem dysponuje dwoma rodzajami decyzji, a mianowicie:

- odrzucenie planowanego lub istniejącego zagrożenia, gdyż ryzyko z nim związane jest nie do zaakceptowania

- przyjęcie planowanego lub istniejącego zagrożenia, pod warunkiem zmniejszenia lub eliminacji ryzyka, np. redukcja zagrożenia, redukcja ekspozycji, zmniejszenie konsekwencji ryzyka itp.

W pierwszym przypadku całkowita eliminacja ryzyka oznacza zakaz wprowadzania danego związku chemicznego do obrotu lub wycofanie z użytkowania. Od dłuższego już czasu podejmowane są decyzje, w wyniku których wycofano już z użytkowania wiele związków chemicznych.

Często nie jest jednak możliwe, przynajmniej obecnie, wycofanie związku z użytkowania; wtedy zarządzanie ryzykiem skierowane jest na redukcję ryzyka. Wynikiem takich działań są zwykle decyzje (czy pozwolenia) dotyczące ilości substancji, którą dany zakład może odprowadzać w ściekach do rzeki; które substancje mogą być odprowadzane na zakładowe składowisko odpadów; warunki składowania odpadów niebezpiecznych; ustalanie warunków pozwoleń na rozładowanie, magazynowanie i transport chemikaliów; ustalanie krajowych standardów jakości powietrza; określanie dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń w wodzie pitnej.

Każda taka decyzja, zwłaszcza gdy ma zasięg ponadregionalny, musi brać pod uwagę również dodatkowe elementy, niebędące składnikami samej oceny ryzyka, a zwłaszcza dane ekonomiczne, informujące zarządzającego ryzykiem o kosztach ryzyka i korzyściach jego redukcji, kosztach łagodzenia ryzyka, opcjach naprawczych, efektach dystrybucji kosztów i korzyści w społeczeństwie oraz czynniki technologiczne, włączając także wykonalność, oddziaływanie i zakres opcji redukcji ryzyka.

Przy podejmowaniu decyzji dotyczących dopuszczalnych poziomów dawek czy stężeń istotne znaczenie ma analiza i ocena niepewności danych wykorzystywanych w ocenie ryzyka. Niepewności mogą wynikać z wielu źródeł, z naturalnej i nieodłącznej zmienności danych w czasie, zmienności w dokładności pomiarów i opracowywaniu danych, luk w wiedzy wynikających z braku danych, przyjętych modeli i procedur testów nieodzwierciedlających dobrze ekspozycji rozważanej populacji oraz, co najważniejsze, ze zmienności wewnątrz- i międzygatunkowej. Ten ostatni rodzaj niepewności wiąże się z przenoszeniem na ludzi danych, uzyskanych w testach z wykorzystaniem zwierząt.

Ponieważ ocena ryzyka może podlegać niepewności z wielu źródeł, to najczęściej stosowanym działaniem jest redukcowanie ryzyka przez wprowadzanie tzw. współczynników niepewności, za pomocą których ustala się dopuszczalne poziomy dawek. Ich wartości mieszczą się w granicach od 10 do 1000, zależnie od rodzaju wykorzystywanych danych. I tak:

- jako poziom dopuszczalny przyjmuje się poziom 10-krotnie niższy od wartości progowej uzyskanej w testach, jeżeli dane pochodzą z długoterminowych testów z udziałem ludzi, co uwzględnia naturalną zmienność wrażliwości w populacjach ludzkich
- jako poziom dopuszczalny przyjmuje się poziom 100-krotnie, a nawet 1000-krotnie niższy od wartości progowej uzyskanej w testach, jeżeli przenosi się dane z testów na zwierzętach na populacje ludzi; dane pochodzą z małej liczebności osobników i lub niewielkiej bazy danych.

Współczynników niepewności nie stosuje się do chemikaliów o specyficznym działaniu, dla których nie można zidentyfikować wartości progowych (kancerogenność, mutagenność, toksyczność dla reprodukcji). Jak już wspomniano, dla takich związków szacuje się prawdopodobieństwo wystąpienia efektu, w zależności od zaabsorbowanej dawki związku. Najczęściej stosuje się to do substancji uważanych za kancerogenne, wykorzystując do tego celu stwierdzone w testach ilości przypadków wystąpienia danego efektu w testowanej populacji, w stosunku do wielkości całej populacji dla różnych wielkości dawek. Jeżeli nie można wyeliminować danej substancji z użytkowania, i tym samym ryzyka, to za dopuszczalny przyjmuje się poziom jej stężenia odpowiadający ryzyku 10^{-6} , tzn. wystąpienia jednego dodatkowego przypadku nowotworu na 1 milion osób poddanych ekspozycji danego związku w całym okresie swego życia.

Należy jednak podkreślić, że wprowadzanie współczynników niepewności nie stosuje się mechanicznie. Decyzja o wprowadzeniu takiego współczynnika, i jego wielkości, musi być poprzedzona analizą niepewności wszystkich wykorzystanych w ocenie danych i informacji, zarówno dla ochrony najbardziej wrażliwych grup w społeczeństwie, jak również możliwości realizacyjnych. Może się bowiem okazać, że względy bezpieczeństwa wymagają bardzo niskich dawek progowych, a tym samym bardzo niskich stężeń związków chemicznych, bardzo trudnych lub nawet niemożliwych do osiągnięcia, zarówno z technicznych jak i ekonomicznych względów.

Czy chemiczny oznacza niebezpieczny?

Ocena ryzyka chemicznego, jako źródło informacji o zagrożeniach chemicznych i związanej z nimi możliwości wystąpienia ujemnego efektu zdrowotnego u ludzi, stanowi pomoc dla osób lub gremiów decyzyjnych – przedstawicieli władz publicznych czy producentów chemikaliów, przy określeniu priorytetów

w podejmowaniu działań prewencyjnych lub naprawczych, oraz charakteru i zakresu tych działań – w celu kontrolowania poziomu chemikaliów w produktach, czy środowisku. Nie jest to jedyne narzędzie. Wprowadzony w Unii Europejskiej system rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), przepisy dla producentów farmaceutyków, dodatków do żywności, środków ochrony roślin, a także dopuszczalne wartości emisji gazów do powietrza, czy jakości odprowadzanych ścieków, stawiają bardzo ostre wymagania dla produkcji i stosowania chemikaliów. Wszystkie podejmowane działania dla zmniejszenia zagrożenia chemicznego upoważniają więc do stwierdzenia, że żadnemu z zagrożeń współczesnego życia nie poświęcono tak wiele uwagi, nie włożono tak wiele wysiłku i nie wydano tak wiele środków na jego redukcję, jak zagrożeniu chemicznemu. I efektów tego nie można nie doceniać ani nie zauważać.

Nie upoważnia to jednak do jednoznacznego stwierdzenia, że w zakresie zagrożeń chemicznych sytuacja została już lub jest bliska opanowaniu, i ryzyko z nimi związane jest już tylko znikome. Chemikalia, tak jak wszystko, mogą stwarzać ryzyko. Jednak stosowanie chemikaliów miało i ma na celu nie tylko podniesienie standardów życia, ale przede wszystkim eliminowanie innych zagrożeń, które w przeszłości pustoszyły kraje i dziesiątkowały populacje ludzkie. Przykładów jest wiele:

- stosowanie chemikaliów w rolnictwie – powszechnie uważane jest za bardzo szkodliwe i wiążące się z dużym ryzykiem dla zdrowia ludzi. Ale intensyfikacja rolnictwa dzięki wprowadzeniu nawozów i środków ochrony roślin umożliwiła nie tylko zwiększenie produkcji żywności, zapobiegając klęskom głodu na wielu obszarach naszego globu, lecz także zmniejszenie powierzchni upraw, dzięki czemu środowisko jako całość jest mniej obciążone
- chlor – jako bardzo reaktywny i jednocześnie toksyczny pierwiastek stwarza stosunkowo duże zagrożenia dla ludzi i wielu składników środowiska, co wywołuje żądania wyeliminowania go z użycia. Ale stosowanie chloru i jego związków do dezynfekcji, a zwłaszcza dezynfekcji wody pitnej, praktycznie zlikwidowało w skali światowej ryzyko występowania epidemii wywoływanych złymi warunkami sanitarnymi
- wiele organicznych związków chloru – jest szkodliwych dla zdrowia i ich stosowanie nie tylko w pierwotnej postaci, lecz także do wytwarzania innych produktów, może stanowić zbyt duże ryzyko, co usprawiedliwia żądania ich wycofania. Ale związki tego typu są niezbędne do wytwarzania wielu niezbędnych produktów, w tym farmaceutyków czy tworzyw sztucznych

- w ostatnich dekadach dramatycznie wzrosła ilość odpadów komunalnych, wśród których znaczny udział mają odpady z tworzyw sztucznych, zwłaszcza polichlorku winylu. Dotychczas nie rozwiązano akceptowalnego technicznie i ekonomicznie sposobu ich likwidacji, co skutkuje powstawaniem coraz większej ilości legalnych i nielegalnych składowisk, stanowiących poważne zagrożenie dla środowiska i w konsekwencji dla zdrowia ludzi. Ale tworzywa sztuczne, w tym właśnie polichlorek winylu, są tak ważnym składnikiem współczesnego świata, że ich wycofanie lub tylko ograniczenie, oznaczałoby poważny regres cywilizacyjny.

Nie można więc postrzegać chemikaliów wyłącznie z punktu widzenia związanego z nimi ryzyka. Głosy domagające się ich wycofania z produkcji i użytkowania nie uwzględniają wcale konsekwencji takich posunięć, to jest ryzyka wywołania skutków o zasięgu i skali trudnym do przewidzenia. Nie wszystkie chemikalia i nie zawsze, stwarzają zagrożenie dla zdrowia ludzi. Problem nie tkwi więc w tym, czy mamy stosować chemikalia; najważniejsze, czy stosujemy je odpowiedzialnie i jakie to nam przynosi korzyści. Nawet jeśli związek chemiczny ma niebezpieczne właściwości, to ryzyko dla ludzi lub środowiska będzie bardzo małe, jeśli będziemy go używać ostrożnie, z niezbędnym umiarem i w kontrolowanych warunkach.



AUTORZY |

AUTORZY

Prof. dr hab. inż. Lech CZARNECKI ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej w specjalności technologia tworzyw sztucznych (1965). Przez 5 lat po studiach pracował w Warszawskiej Fabryce Tworzyw Sztucznych na stanowisku st. technologa, zajmując się prototypami wyrobów z laminatów poliestrowo szklanych i przetwórstwem poliolefin. W 1969 r. podjął pracę na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej w Katedrze Chemii i Technologii Materiałów Budowlanych. W 1972 r. obronił na Wydziale Chemicznym rozprawę doktorską dotyczącą kryteriów przetwarzalności polietylenu, a w 1982 r. uzyskał stopień doktora habilitowanego prezentując na Wydziale Inżynierii Lądowej rozprawę pt. „Betony żywiczne” (Wyd. Arkady), w 1996 r. uzyskał tytuł naukowy profesora nauk technicznych. Od 1981 r. kieruje (z przerwą 1991-1993) początkowo Zakładem Technologii Materiałów Budowlanych, a od 2004 r. Katedrą Inżynierii Materiałów Budowlanych. Od 2009 r. równocześnie pełni funkcję Sekretarza Naukowego Instytutu Techniki Budowlanej. W latach 1993-2004 był członkiem Senatu Politechniki Warszawskiej przewodnicząc Senackiej Komisji ds. Współpracy z Zagranicą, a następnie ds. Etyki Zawodowej. W kadencji 2003-2005 był prorektorem ds. studiów. Obszar zainteresowań badawczych to: inżynieria materiałów budowlanych: betony żywiczne i betony polimerowo-cementowe; modele materiałowe w inżynierii materiałowej; trwałość, ochrona i naprawy konstrukcji betonowych, zrównoważone budownictwo. Profesor Lech Czarnecki jest członkiem Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk (od 1993 r.), był przewodniczącym Sekcji Materiały Budowlane tego Komitetu w ciągu dwóch ostatnich kadencji. President International Congress on Polymers in Concrete, ICPIC (od 2007 r.; poprzednio Vice-president); członek-korespondent American Concrete Institute, ACI; senior member International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures, RILEM; honorowy ekspert Czech Grant Agency; wiceprzewodniczący Rady Naukowej Instytutu Techniki Budowlanej, członek Rady Naukowej Instytutu Badawczego Dróg i Mostów, w poprzednich kadencjach Instytutu Chemii Przemysłowej i Instytutu Mineralnych Materiałów Budowlanych. Delegat Krajowy do Europejskiego Programu Współpracy Naukowo-Technicznej, COST. Autor lub współautor ponad 200 publikacji (w tym ponad 100 w językach obcych, głównie angielskim) z zakresu

polimerowo-cementowych kompozytów budowlanych, trwałości i napraw konstrukcji żelbetowych; koordynator licznych projektów badawczych, w tym polsko-amerykańskich i polsko-walońskich; 35 patentów, w tym 9 zagranicznych; ponad 600 udokumentowanych cytowań, w tym ponad 200 zagranicznych, głównie związanych z kompatybilnością w układach naprawianych i optymalizacją materiałową. Wygłaszał referaty generalne na pięciu Międzynarodowych Kongresach „Polymers in Concrete” oraz na dziesięciu międzynarodowych konferencjach, w tym Sympozjach RILEM, wygłaszał wykłady na zaproszenie 13 uniwersytetów europejskich, amerykańskich i japońskich. Członek Rady Programowej czasopism „Archives of Civil Engineering”, „Cement Wapno Beton” i „Ceramika”, redaktor działowy w czasopiśmie „Materiały Budowlane”. Odznaczony Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Medalem Edukacji Narodowej i Zasłużony dla Budownictwa. Laureat Nagród im. Żenczykowskiego, Danileckiego oraz Owena Nutta za „distinguished service and leadership in the polymers in concrete”, a także International Award of Materials Engineering for Resources za „eminent activities in new frontiers of Building Materials Engineering” oraz pięciokrotnie nagrodami Ministra Nauki i Ministra Budownictwa i wielokrotnie nagrodami JM Rektora Politechniki Warszawskiej.

Prof. dr hab. Mariusz FOTYMA jest profesorem w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach.

Ukończył Wydział Rolniczy SGGW w Warszawie, doktoryzował się w Akademii Rolniczej w Poznaniu, stopień doktora habilitowanego w zakresie agronomii i profesury nadzwyczajną i zwyczajną uzyskał w IUNG-PIB w Puławach. Doktor honoris causa SGGW w Warszawie. W latach 1958-1961 nauczyciel biologii i chemii w szkolnictwie ogólnokształcącym w Warszawie. Od 1962 r. pracownik inżynierjno-techniczny, a następnie naukowy w IUNG, początkowo w Stacji Doświadczalnej, a następnie w Puławach. Wieloletni kierownik Zakładu Nawożenia IUNG, a od 2005 r. po przejściu na emeryturę profesor kontraktowy w tymże Zakładzie. Specjalista w zakresie chemii rolniczej, ze szczególnym uwzględnieniem podstaw nawożenia gleby i roślin oraz gospodarki nawozowej. Twórca komputerowego systemu doradztwa nawozowego, oficjalnie przyjętego w Polsce. Autor lub współautor 10 wydawnictw zwartych, w tym podręczników Chemia Rolna i Chemiczne Podstawy Nawożenia, oraz ponad 200 prac naukowych. Członek International Fertilizer Society, International Scientific Centre of Fertilizers, European Society for Agronomy oraz Polskiego Towarzystwa Agronomicznego (wieloletni prezes) i Polskiego Towarzystwa Nawozowego

(pierwszy prezes). Redaktor kwartalnika Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, oraz do 2008 r. wieloletni redaktor kwartalnika Fragmenta Agromonica. Członek-korespondent VDLUFA oraz przedstawiciel Polski w grupie MOEL afiliowanej przy VDLUFA. Laureat zespołowej Nagrody Państwowej oraz wielu Nagród Ministra Rolnictwa i Wydziału V PAN. Odznaczony m.in. Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski.

Mgr Anna GIETKA – absolwentka Międzywydziałowych Studiów Ochrony Środowiska na Uniwersytecie Warszawskim. Dyplom magistra uzyskała w 2005 r. W 2009 r. otrzymała dyplom studium podyplomowego na Uniwersytecie Ekonomicznym w Poznaniu „Menedżerskie Studium Podyplomowe Handlu Emisjami i Zarządzania Energią w Przedsiębiorstwie”. Z Polską Izbą Przemysłu Chemicznego związana od 2008 r. Zajmuje się zagadnieniami szeroko pojętej ochrony środowiska, handlem emisjami oraz efektywnością energetyczną; odpowiada również za działania związane z Programem *Responsible Care*.

Prof. dr hab. inż. Paweł KAFARSKI urodził się w 1949 r. w Gdańsku. Studiował chemię na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej, gdzie w 1977 r. uzyskał stopień doktora (promotor prof. Przemysław Mastalerz), a w 1990 r. stopień doktora habilitowanego. Tytuł profesora nauk chemicznych otrzymał w 2000 r. Od 1992 r. kieruje Zakładem Chemii Bioorganicznej na wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej. Od 1982 r. jest także zatrudniony na Uniwersytecie Opolskim. Sprawuje lub sprawował wiele funkcji typowych dla pracownika akademickiego. Jest współautorem ponad dwustu pięćdziesięciu prac naukowych, które są cytowane w literaturze ponad dwa tysiące razy. Był promotorem dwudziestu jeden prac doktorskich. Jego zainteresowania naukowe obejmują projektowanie, syntezę i badanie wybranych właściwości biologicznych związków aminofosfonowych i ich pochodnych. Innym nurtem badań jest chemia produktów naturalnych. Spośród nagród i wyróżnień szczególnie sobie ceni Medal im. Jana Hanusa nadany przez Czeskie Towarzystwo Chemiczne i medal im. Prof. Włodzimierza Trzebiatowskiego nadany przez Senat Politechniki Wrocławskiej.

Prof. dr hab. inż. Jacek KIJEŃSKI – wybitny specjalista w dziedzinie chemii i technologii chemicznej w zakresie kierunków i strategii rozwoju przemysłu chemicznego, katalizy, przemysłowej syntezy organicznej i recyklingu odpadów z tworzyw sztucznych. Profesor zwyczajny Politechniki Warszawskiej, członek

Senatu PW w latach 1996-2006. W marcu 2008 r. wybrany Dziekanem Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii oraz Prorektorem Politechniki Warszawskiej ds. Szkoły Nauk Technicznych i Społecznych w Płocku.

Przez pięć lat (2002-2007) był dyrektorem Instytutu Chemii Przemysłowej im. prof. Ignacego Mościckiego w Warszawie, a obecnie jest kierownikiem Zakładu Proekologicznej Modernizacji Technologii w Instytucie Chemii Przemysłowej.

Od 2002 r., już drugą kadencję, pełni funkcję Prezesa ZG Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego. Jako doświadczony menedżer oraz ekspert w zakresie kierunków rozwoju technologii chemicznej został powołany przez Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej do pracy w Zespole Międzyresortowym ds. Przekształceń Własnościowych Jednostek Badawczo-Rozwojowych oraz w Zespole Trójstronnym ds. Branży Chemicznej. Prezes Zarządu Konsorcjum Centrum Zaawansowanych Technologii Chemia na Rzecz Gospodarki CHEMCAT, Koordynator Polskiej Platformy Technologicznej Wodoru i Ogniw Paliwowych, członek Komitetu Sterującego Polskiej Platformy Technologicznej Biopaliw i Biokomponentów. Jest ponadto członkiem Stałego Komitetu Kongresów Technologii Chemicznej, Wiceprzewodniczącym Komitetu Chemii PAN, członkiem Stowarzyszenia Wynalazców i Racjonalizatorów, Polskiego Stowarzyszenia Przetwórców Tworzyw Sztucznych, oraz rad programowych czasopism „Przemysł Chemiczny” (Przewodniczący Rady), „Chemik”, „Polimery”, „Wiadomości Chemiczne” i „Rynek Chemiczny”. Na arenie międzynarodowej jest przedstawicielem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej w Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ, członkiem stowarzyszonym Komitetu Chemia-Przemysł w Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej IUPAC, członkiem niemieckiego Towarzystwa DECHEMA, American Chemical Society, członkiem Network for Industrial Catalysis In Europe (NICE) oraz European Federation of Chemical Engineering (EFCE). Odznaczony Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Medalem Komisji Edukacji Narodowej oraz Orderem Królestwa Belgii stopnia oficerskiego za zasługi w dziedzinie wynalazczości, Złotym Medalem WIPO (Światowa Organizacja Własności Intelektualnej), Złotą Odznaką Honorową NOT, Złotą Odznaką Politechniki Wrocławskiej, Honorową Odznaką SITPChem, Medalem im. Prof. W. Świątosławskiego. Jest pięciokrotnym laureatem nagród MEN. Otrzymał również kilkanaście nagród Rektora Politechniki Warszawskiej. Jest autorem lub współautorem ok. 170 publikacji, ponad 200 wystąpień konferencyjnych, 5 monografii i 30 patentów. Jego prace były ponad 800 razy cytowane w czasopiśmie zagranicznych, książkach i monografiach.

Dr Marta KIJEŃSKA – od 2006 r. pracuje w Instytucie Chemii Przemysłowej w Warszawie. Skończyła studia magisterskie na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego (2004) oraz licencjackie na Wydziale Biologii Uniwersytetu Warszawskiego (2005). Obecnie kończy studia doktoranckie na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej.

Dr inż. Iwona KONOPACKA-BRUD – absolwentka Politechniki Warszawskiej. 30 lat pracy zawodowej poświęciła substancjom zapachowym. Specjalizuje się w dziedzinie naturalnych substancji zapachowych – olejków eterycznych i aromaterapii, czyli wykorzystaniem dobroczynnych właściwości olejków eterycznych w pielęgnacji zdrowia i urody. Prezes Polskiego Towarzystwa Aromaterapeutycznego, twórca i Redaktor Naczelna czasopisma popularno-naukowego *Aromaterapia*, wieloletni Kierownik Laboratorium Badawczego, Główny Specjalista ds. publikacji w warszawskiej firmie Pollena-Aroma, współtwórca serii Dr Beta® – wyrobów do aromaterapii – olejków eterycznych i kosmetyków naturalnych. Współautorka książek: *Tajemnice Aromaterapii – Pachnąca Apteka* (Oficyna Wydawnicza MA, Łódź 2009), *Aromaterapia dla każdego* (Studio Astropsychologii, Białystok 2002), *Podstawy perfumerii* (Oficyna Wydawnicza MA, Łódź 2009), *Kosmetologia Pielęgnacyjna i Lekarska* (PZWL, Warszawa 2010), *Aromaterapia w Gabinetach Kosmetycznym Ośrodku Odnowy Biologicznej Wellness i Spa* (Wydawnictwa Wyższej Szkoły Zawodowej Kosmetyki i Pielęgnacji Zdrowia, Warszawa 2010). Wykładowca podstaw aromaterapii na Warszawskim Uniwersytecie Medycznym na Wydziale Farmaceutycznym i Wyższej Szkoły Zawodowej Kosmetyki i Pielęgnacji Zdrowia w Warszawie

Mgr inż. Wojciech LUBIEWA-WIELEŻYŃSKI – Prezes Zarządu Polskiej Izby Przemysłu Chemicznego, członek zarządu federacji krajowych w Europejskiej Radzie Przemysłu Chemicznego CEFIC, a w latach 2003-2007 członek zarządu CEFIC, członek zarządu Europejskiego Stowarzyszenia Pracodawców Przemysłu Chemicznego ECEG. Brał udział w pracach Komitetu Wykonawczego Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Nawozów EFMA. Jest członkiem Rady Nauki, Stałego Komitetu Kongresów Technologii Chemicznej, wielu rad naukowych instytutów chemicznych oraz rad programowych czasopism chemicznych. W latach 1990-2002 był dyrektorem Instytutu im. Prof. Ignacego Mościckiego. Jest autorem i współautorem wielu wdrożeń, patentów i publikacji.

Prof. zw. dr hab. inż. Marian TANIEWSKI jest wybitnym uczonym, który odegrał istotną rolę w rozwoju przemysłu chemicznego w kraju, wnosząc także znaczący wkład do szeroko pojętej technologii chemicznej na świecie. W szeregu kwestii Jego działalność była prekursorska. Imponujący jest również obszar zainteresowań i dokonań Profesora. Marian Taniewski jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach (1954) w specjalności technologia tworzyw syntetycznych i wielkiej syntezy organicznej. Pierwszą pracę po studiach podjął w Instytucie Syntezy Chemicznej w Oświęcimiu (1954). W 1955 r. powrócił do Gliwic jako aspirant naukowy w Katedrze Technologii Chemicznej Organicznej Politechniki Śląskiej i od tej pory związany jest z Wydziałem Chemicznej Politechniki Śląskiej. Szlify naukowe zdobywał pod kierunkiem takich wybitnych chemików jak prof. dr inż. Waclaw Leśniański i prof. dr inż. Tadeusz Mazoński. Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w 1959 r. za pracę pt. *Rozkład termiczny alkanów i odwodornienie izopropylobenzenu w procesie otrzymywania alfa-metylostyrenu z krajowych gazoli*. Rozprawę habilitacyjną pt. *Kinetyka i mechanizm termicznego rozkładu izomerycznych heksanów oraz wtórnego rozkładu powstających olefin* obronił w 1962 r. przed Radą Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej uzyskując stopień naukowy docenta. Znaczną część badań do tej rozprawy Marian Taniewski wykonał pracując jako stypendysta podoktorski na uniwersytecie w Oxfordzie w Laboratorium Chemii Fizycznej pod bezpośrednim kierownictwem laureata Nagrody Nobla, Prof. Sir Cyrila N. Hinshelwooda. W 1969 r. uzyskał tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego, a w 1975 r. nadano Mu tytuł naukowy profesora zwyczajnego. Dorobek naukowy profesora Mariana Taniewskiego obejmuje 2 książki, 5 rozdziałów w książkach, 2 podręczniki, 2 skrypty, 181 artykułów naukowych, 10 patentów krajowych, 9 patentów zagranicznych, 165 wygłoszonych w kraju i za granicą referatów i komunikatów naukowych, 3 wdrożenia przemysłowe w skali wielkotechnicznej oraz licznych opracowań założeń projektowych i technologicznych. Ponad 300 absolwentów Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej wykonało prace dyplomowe pod kierunkiem Profesora Taniewskiego; był także promotorem 14 zakończonych przewodów doktorskich.

Prof. dr hab. Iwona WAWER (prof. n. WUM) ukończyła Wydział Chemii Uniwersytetu Warszawskiego w 1970 r. Od 1995 r. zajmuje się zastosowaniem spektroskopii NMR i EPR w badaniach związków biologicznie czynnych izolowanych z roślin oraz leków. Prowadzi badania naturalnych antyoksydantów jako

składników żywności, suplementów diety i kosmetyków. Jest autorką książek o zastosowaniach spektroskopii NMR w farmacji, a także książek popularnonaukowych o aronii, herbacie i suplementach diety.

Prof. dr hab. inż. Stefan ZIELIŃSKI – jest od 10 lat Przewodniczącym Rady Programowej miesięcznika CHEMIK nauka·technika·rynek. Jest autorem wielu inicjatyw, które z sukcesem znajdują odzwierciedlenie na łamach czasopisma oraz Autorem publikacji w miesięczniku CHEMIK i opiekunem merytorycznym wydań czasopisma poświęconych zrównoważonemu rozwojowi. Stefan Zieliński jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej. (1959) w specjalności Materiały reaktorowe i podjął pracę, początkowo w Katedrze Technologii Nieorganicznej, przekształconej po reorganizacji Politechniki w 1969 r. w Instytut Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych Politechniki Wrocławskiej. W 1968 r. uzyskał stopień doktora nauk chemicznych za pracę doktorską pt. *Badania nad skoncentrowanym nawozem sztucznym opartym na szklistym metafosforanie potasowym*, w 1981 r. stopień doktora habilitowanego nauk technicznych za pracę *Kinetyczne aspekty krystalizacji gipsu w procesie wytwarzania ekstrakcyjnego kwasu fosforowego*, a w 2001 r. nadano Mu tytuł profesora nauk technicznych. Dorobek naukowy Profesora Stefana Zielińskiego liczy ogółem 189 pozycji, w tym 103 prace opublikowane. W trakcie pracy zawodowej na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej pełnił m.in. funkcje: zastępcy Dyrektora Instytutu ds. Badań Naukowych i Współpracy z Przemysłem (1978-1981, 1981-1984 i 1987-1990); zastępcy Dyrektora ds. Rozwoju Kadry Naukowej i kierownika Zakładu Chemii i Technologii Nieorganicznej (1991-1996).

Opracował i prowadził wiele wykładów, początkowo specjalizacyjnych, a następnie ogólnowydziałowych. W 1986 r. zorganizował krajową konferencję poświęconą nowym koncepcjom nauczania technologii chemicznej, na której wygłosił referat programowy pt. *Problemy nauczania technologii chemicznej*. Przygotował założenia oraz opracował programy specjalności *Technologia Ochrony Środowiska*. Był wieloletnim członkiem Komisji ds. programu studiów Rady Wydziału Chemicznego PWr, Komisji Dydaktycznej Rady Wydziału. Był również Kierownikiem i Przewodniczącym Rady Kierunku Technologia Chemiczna, który jako jeden z dwóch kierunków na Politechnice Wrocławskiej został wyróżniony przez Państwową Komisję Akredytacyjną. W trakcie pracy był opiekunem ok. 50 prac magisterskich. Profesor Stefan Zieliński wypromował 3 doktorów, opracował 3 recenzje habilitacyjne, 7 recenzji prac doktorskich i 8 recenzji wy-

dawnicznych. Za wyróżniającą pracę dydaktyczną oraz wysoki poziom prowadzonych zajęć Profesor Stefan Zieliński otrzymał Zespołową Nagrodę Ministra Edukacji Narodowej III stopnia, Nagrodę Senatu Politechniki Wrocławskiej, szereg nagród Rektora PWr oraz Dziekana Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej.