E. Kwiatkowski

Dzieje Chemii

i Przemysłu Chemicznego

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE

Wydawnictwa Naukowo-Techniczne rozpoczęły wydawanie serii „Z dziejów techniki".

Każdy tom tej serii stanowi odrębną całość.

Seria „Z dziejów techniki" jest przeznaczona w zasadzie dla szerokiego ogółu czytelników posiadających wykształcenie ogólne i interesujących się zagadnieniami techniki oraz dla techników i inżynierów wszelkich specjalności.

W związku z przeznaczeniem serii autorzy i wydawnictwo starają się, aby język książek był żywy i barwny, a sposób ujęcia tematu ogólny, bez wnikania w daleko idące szczegóły techniczne.

W serii „Z dziejów techniki" opracowywane będą zarówno tematy z historii ogólnoświatowej, jak i z historii techniki polskiej oraz życiorysy sławnych techników itd.

Redakcja zwraca się do Czytelników z prośbą o nadsyłanie swoich uwag o przeczytanych książkach z tej serii i wyrażenie życzeń dotyczących tematów i sposobu opracowania dalszych tomów serii.

DZIEJE CHEMII
I
PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO

„Z DZIEJÓW TECHNIKI"

seria wydawana przy współpracy
Działu Historii Techniki i Nauk Technicznych
Zakładu Historii Nauki i Techniki
Polskiej Akademii Nauk

MGR INŻ. EUGENIUSZ KWIATKOWSKI

DZIEJE CHEMII
I
PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO

WYDAWNICTWA NAUKOWO TECHNICZNE
WARSZAWA

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach
145 456

Opiniodawcy:

prof. dr inż. EUGENIUSZ OLSZEWSKI
prof. dr inż. STEFAN PAWLIKOWSKI
prof. dr inż. EDMUND TREPKA

Redaktor naukowy WNT

mgr inż. STANISŁAW PIETRAS

92:54

W książce omówiono ewolucję nauki chemii teoretycznej i przemysłowej od czasów starożytnych do najnowszych, uwzględniając aspekty filozoficzne, polityczne i ekonomiczne, które mają wpływ na postęp i znaczenie chemii w dorobku materialnym człowieka i społeczeństw.

Na tle ogólnego rozwoju chemii skreślono sylwetki badaczy najbardziej zasłużonych dla rozwoju chemii. W oddzielnej części pracy omówiono wkład nauki i przemysłu polskiego w osiągnięciach chemii zarówno w kraju, jak i w świecie. Książka przeznaczona jest dla czytelników zainteresowanych historią chemii teoretycznej i przemysłowej. Mogą z niej również korzystać studiujący chemię na średnich i wyższych uczelniach.

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

Printed in Poland

Okładkę i obwolutę projektował *K. Dobrowolski*
Redaktor techniczny *T. Kopyt*

Warszawa 1962. Wydanie I. Nakład 2690 egz. Ark. wyd. 24,6. Ark. druk. 27,93 A. Format B5. Papier druk. sat. III, 70 g, 70 × 100. Rękopis oddano do składania 7.9.61. Podpisano do druku 21.2.62. Druk ukończono w marcu 1962. Symbol 76423/Cho. H-90. Cena zł 50.—

Druk. im. Rew. Październikowej, Warszawa
Zam. nr 1489/61.

SPIS TREŚCI

Rozdział I. Cele i zadania historii rozwoju chemii czystej i stosowanej . 7
Rozdział II. Wiedza przyrodnicza i chemia w zaraniu cywilizacji . . 22
Rozdział III. Chemia i alchemia Średniowiecza 41
Rozdział IV. Zmaganie się poglądów na zadania i podstawowe założenia chemii. Wiek XVI i XVII 60
Rozdział V. Szturm naukowy na pozycje chemii spekulatywnej. Wiek XVIII 82
Rozdział VI. Ukształtowanie podstaw chemii teoretycznej i przemysłowej. 1790—1855 104
Rozdział VII. Bujny i szybki rozkwit chemii i technologii organicznej. 1856—1895 132
Rozdział VIII. Dalsze zdobycze naukowe i gospodarcze nowoczesnej chemii. 1896—1925 173
Rozdział IX. Chemia triumfująca. 1926—1960 210
Rozdział X. Powstanie i rozwój chemii atomowej 244
Rozdział XI. Współczesne tendencje rozwojowe w przemyśle chemicznym na tle faktów historycznych 267
Rozdział XII. Rzut oka na rozwój chemii i przemysłu chemicznego na ziemiach polskich 284
Literatura 320

Rozdział I

Cele i zadania historii rozwoju chemii czystej i stosowanej

Dopiero obecnie uświadamiamy sobie z całą oczywistością, że reakcje chemiczne są wszechobecne i zachodzą równocześnie w całym wszechświecie, w nieskończonej ilości różnokierunkowych procesów zarówno twórczych, jak i w pewnym sensie destrukcyjnych. One są najpotężniejszą i niewyczerpalną siłą motoryczną wszelkich przejawów fizycznego życia oraz wszystkich przemian w przyrodzie. Emisja przepotężnych zasobów energetycznych słońca jest wynikiem reakcji chemicznych; ich przejawy i skutki stwierdza się w całym kosmosie; reakcje chemiczne przebiegają zarówno na powierzchni skorupy ziemskiej, jak i w jej wnętrzu, w atmosferze i morzach, w każdej prawie wytwórni przemysłowej, w każdym warsztacie rolnym, w nowym dziele budowlanym, ścieku wodnym, w roślinie i w organizmie zwierzęcym, w każdej pracowni naukowej i w reaktorze atomowym. W ciągu wielu wieków chemia przewartościowała tysiące materiałów użytkowych i jeszcze większą liczbę surowców i półproduktów: od twardego krzemienia doszła do jeszcze twardszego karborundu, wytworzywszy brąz i żelazo uzyskała wysokogatunkowe stale stopowe i całą gamę metali kolorowych, poczynając od gliny i rogu doszła do tworzyw plastycznych, od popiołu i oleju — do mydła i detergentów, od wełny i jedwabiu — do włókien nylonowych, od kauczuku naturalnego — do różnych kauczuków syntetycznych, od łuczywa — do ropy naftowej i gazu węglowego, od węgla i ropy — do tysięcy produktów karbo- i petrochemicznych, od kilku prymitywnych barwników naturalnych — do najwspanialszych barwników syntetycznych wszelkich odcieni itd. Gdyby przekontrolować dokładnie całą, złożoną technikę nowoczesnego gospodarstwa rolnego lub przemysłowego, gospodarstwa domowego czy transportu, służby zdrowia albo też urządzeń obronnych, to okazałoby się, że żadne z nich bez ścisłej i nieustannej współpracy z chemią nie może już egzystować. Dzisiejszy człowiek nie uświadamia sobie nawet tego faktu, że tylekrotnie w ciągu dnia musi odwoływać się do usług chemii i reakcji chemicznych.

Również człowiek prehistoryczny, poczynając posługiwać się w coraz szerszym zakresie procesami, których punktem wyjścia były reakcje chemiczne, nie zdawał sobie sprawy z powszechności, a tym bardziej z chemicznego charakteru i z wewnętrznego mechanizmu tych procesów. Początkowo nie znał on nawet pojęcia *chemia*, które pojawia się późno, w dziełach przypisywanych badaczowi, uczonemu i pisarzowi egipskiemu z IV wieku n. e., Zosimosowi z Panopolis i jego późniejszym następcom. Pochodzenie i znaczenie słowa *chemia* nie jest zresztą jeszcze dotychczas wyjaśnione. Pomijając wszelkie spekulacje interpretacyjne, chybione i niepoważne[1], można powątpiewać o trafności i innych interpretacji, gdyż i one nie opierają się na konkretnym materiale dowodowym. Gdy więc jedni podkreślają, że starożytna nazwa Egiptu, a może tylko jego górnej części lub jednego miasta brzmiała *Chemmi*, że np. dla Greków określenie *chemeia* lub *techne chemeia* oznaczało sztukę wynalezioną w Egipcie, to inni etymologię tego słowa wiążą z pojęciem *chyma*, które w językach Bliskiego Wschodu miało oznaczać odlew metalowy, albo z pojęciem *alchymia*, które w rozumieniu uczonych arabskich odpowiadało sztuce przemiany jednych metali w drugie[2].

Ale nawet wówczas, gdy zaczęto już powszechnie posługiwać się nazwą chemia albo alchemia, nauka ta nie miała tak jasno zarysowanych celów ani też tak dokładnie sprecyzowanej własnej problematyki i metod badawczych, jak starożytna matematyka, astronomia, fizyka, filozofia czy prawo. Po prostu odkrywano i stosowano pewne procesy o wielkim znaczeniu praktycznym bez wnikania w ich wewnętrzną mechanikę i w ich wzajemne związki genetyczne. Takie właśnie operowanie procesami fizyko-chemicznymi rozpoczęło się w momencie dokonania najdonioślejszego dla całej przyszłości, a bezimiennego odkrycia, tj. w momencie skrzesania ognia, a następnie zastosowania ciepła do wytapiania tłuszczów, stapiania i formowania metali, później do wypalania cegieł, naczyń glinianych, kamienia wapiennego itp. Dopiero po nagromadzeniu licznych doświadczeń, wielu przełomowych, a najczęściej przypadkowych odkryć i zadziwiających osiągnięć praktycznych, przyszedł czas na uogólnienia teoretyczne, naukowe.

Odtąd oba aspekty: spekulatywno-myślowy i techniczno-użytkowy rozwijały się przez długie okresy czasu niezależnie od siebie. A choć można zdumiewać się, do jakich niezwykłych osiągnięć intuicyjnych dochodziła w starożytnym świecie myśl ludzka albo jakie triumfy święciła praktyka przetwórcza na wiele wieków przed naszą erą, np. w Chinach

---

[1] Fierz-David H. E., *Historia rozwoju chemii*, PWN, Warszawa 1958, str. 23.

[2] Lockemann G., *Geschichte der Chemie*, B. I., Göschen-Sammlung. Berlin 1950; Pietsch E., *Sinn u. Aufgaben der Geschichte der Chemie*, Verlag Chemie, Berlin 1937, str. 28.

czy w Egipcie, to jednak nie przyczyniło się to do jasnego określenia i ustalenia celów oraz do wyodrębnienia zadań nowej nauki i jej konsekwencji technologicznych. Przeciwnie, przez wiele wieków ta wiedza, którą dziś określamy jako chemię czystą lub stosowaną błąkała się bądź to jako fragment ogólnej filozofii przyrodniczej, bądź też jako pewnego rodzaju sztuka czarnoksięska, dostępna tylko nielicznym mistrzom alchemii, podejrzewanym o posiadanie tajemnicy „kamienia mądrości", albo też była zacieśniana do wąskiej problematyki, np. przetwarzania rud i wytapiania metali, wreszcie poczytywana była za część składową nauk i praktyk lekarskich i jako tzw. *jatro-chemia* związana była z prymitywnymi najczęściej pracowniami aptecznymi.

Taki stan rzeczy i wyobrażeń pomimo sporadycznych osiągnięć pionierów chemii przetrwał zasadniczo aż do początków XVII stulecia. Wówczas to nie tylko poczęła krystalizować się świadomość, że fundamentalnym zadaniem chemii jest badanie składu i właściwości wszystkich spotykanych naturalnych i przetworzonych materiałów, dociekanie ich struktury wewnętrznej oraz prawideł rządzących przemianami strukturalnymi, a następnie najszersze praktyczne wykorzystanie ich zdolności do wielokierunkowych reakcji i przemian, ale ponadto znalazły się tak wybitne i twórcze indywidualności, iż w stosunkowo krótkim czasie zdołano tę dyscyplinę wiedzy usamodzielnić i wyodrębnić oraz wypełnić bogatą i rzetelną treścią naukową.

Ta aktywna i wszechstronna praca teoretyczna zdynamizowała w dalszej konsekwencji również rozwój chemii przemysłowej. Odtąd, aż po naszą współczesność, realizuje się gigantyczny i wszechstronny postęp w zakresie chemii czystej i stosowanej, postęp olśniewający potęgą osiągnięcia w przypadkach wyjątkowych, najczęściej jednak dokonujący się w ciszy pracowni badawczych i w halach fabrycznych, a wysuwający chemię na jedno z czołowych zagadnień współczesnego życia i obecnej cywilizacji.

Stopniowo więc sformułowane zostały tak fundamentalne prawa, jak prawo zachowania masy i energii, prawo stosunków stałych i wielokrotnych, prawo stosunków objętościowych i prawa gazowe, prawo działania mas i prawa równowagi chemicznej, opracowane zostały teorie roztworów, ciśnień osmotycznych i dysocjacji elektrolitycznej, przebadano i rozwinięto nieskończone szeregi reakcji analitycznych i syntetycznych, endotermicznych i egzotermicznych, katalitycznych i ciśnieniowych, elektrochemicznych i fotochemicznych, reakcji wymiany i podstawienia, reakcji jonowych i jądrowych, ustalono ścisłe pojęcia pierwiastka, cząsteczki, atomu, jądra atomowego i orbit elektronowych, stworzono — bogaty w dalekosiężne konsekwencje — okresowy układ pierwiastków, odkryto zjawisko promieniotwórczości, wskazano na znaczenie liczby atomowej, zbu-

dowano strukturalny model atomu, stwierdzono istnienie izotopów, wyjaśniono kompleks zagadnień związanych z wartościowością pierwiastków, wypracowano tysiące metod dotyczących organicznych procesów jednostkowych, krakingu termicznego i katalitycznego, syntezy, kondensacji, polimeryzacji, fermentacji, koagulacji itd.

Wszystkie te osiągnięcia znalazły swój praktyczny odpowiednik w zdumiewająco szybkiej rozbudowie przemysłu chemicznego. Jeszcze półtora wieku temu wytwórnie, które z dużą dozą tolerancji można by określić w dzisiejszym znaczeniu jako prawdziwe fabryki chemiczne, ograniczone były do wytwarzania niedużych ilości sody, kwasów mineralnych (głównie kwasu siarkowego), środków bielących, koksu i gazu węglowego, cukru, mydła i kilku znanych od stuleci metali. Jeszcze sto lat temu Perkin, przypadkowy odkrywca pierwszego barwnika syntetycznego, budując pierwszą pionierską wytwórnię barwników w Greenford Green, podkreśla w swoim sprawozdaniu, że surowy i bardzo zanieczyszczony benzol musi sprowadzać ze znacznej odległości (z Glasgow), a np. potrzebnego mu dymiącego kwasu azotowego w ogóle nie może uzyskać. Wobec szybkiego rozwoju przemysłu włókienniczego, metalurgicznego, maszynowego, i in., właściwy przemysł chemiczny nie miał wówczas nigdzie na kuli ziemskiej większego znaczenia gospodarczego i technicznego. Obecnie wyczerpująca lista chemikaliów wytwarzanych na skalę wielkoprzemysłową wymagałaby odrębnej i niemałej publikacji książkowej, grupującej przede wszystkim tak wielkie i samodzielne pozycje technologiczne, jak np. metalurgia, wytwarzanie niektórych pierwiastków w stanie najwyższej czystości, związki azotowe i fosforowe oraz produkowane w dziesiątkach milionów ton nawozy sztuczne, jak potężnie rozbudowane przemysły: elektrotermiczny, elektrolityczny, fermentacyjny, spożywczy, materiałów wybuchowych, jak np. nowoczesne przemysły związane bezpośrednio lub pośrednio z syntezą związków organicznych, rozpuszczalników, paliw ciekłych i smarów, półproduktów organicznych, barwników, olbrzymiego asortymentu leków, tworzyw sztucznych, kauczuków, silikonów, detergentów, włókien sztucznych itd. Ostatnio w każdym dziesięcioleciu powstają nowe produkcje, inne zagadnienia przemysłowe i nowe potrzeby rynkowe z zakresu chemii. Tak wyrosły nagle fabryki witamin i antybiotyków, selektywnych rozpuszczalników, wielkie wytwórnie materiałów rozszczepialnych, zakłady produkcji izotopów, wody ciężkiej itp.

Nie można jednak nie stwierdzić, że tak skondensowany obraz rozwoju chemii nie oddaje i nie może oddać prawdziwej i istotnej rzeczywistości wielokrotnie bardziej złożonej i funkcyjnie tak ściśle związanej z postępem naukowym. Równie zawodne byłoby w tym przypadku odwoływanie się do sumarycznych współczynników liczbowych rozwoju. Ani postępu naukowego, ani ewolucji technicznej takimi współczynnikami wy-

razić nie można; natomiast możnaby dla uzupełnienia obrazu porównać ilościowo lub wartościowo rozwój przemysłu chemicznego z innymi działami produkcji przemysłowej na przestrzeni dłuższych okresów czasu. Analiza taka będzie przedstawiona w dalszych częściach opracowania. Tu z konieczności trzeba ograniczyć się do stwierdzeń jak najbardziej sumarycznych i ogólnych. Tak więc przyjmując produkcję kwasu siarkowego jako typową ilustrację dla natężenia rozwoju całego przemysłu chemicznego można stworzyć obraz wymowny i pouczający: pod koniec XVII wieku światowa roczna produkcja kwasu nie przekraczała kilkunastu ton. Jeszcze w połowie następnego wieku zastosowanie kwasu siarkowego było bardzo ograniczone. Jeżeli w XVII w. kwas ten sprzedawano na uncje, to już w połowie XVIII w. wielkość wytwórni ustalano w funtach a pod koniec tego wieku operowano w Anglii tonami kwasu. Ale na owe czasy fabryka wytwarzająca 40—50 t kwasu rocznie uważana była za dużą wytwórnię chemiczną. W XIX w. sumaryczna produkcja kwasu siarkowego wzrosła z kilkuset ton rocznie na początku okresu do 3,2 mln t pod koniec tego stulecia. Obecnie osiąga ona 45 mln t rocznie[3]. Na początku XIX w. chemia przemysłowa wytwarzała kilkadziesiąt ważniejszych produktów rynkowych, obecnie zaś w postaci materiałów wyjściowych i półproduktów do dalszego przerobu oraz w postaci wyrobów końcowych produkuje ok. 20 tys. odrębnych substancji; chemia naukowa zna już ok. jednego miliona różnych związków chemicznych zarówno organicznych (ok. 95%), jak i nieorganicznych (ok. 5%).

Ten prawdziwie lawinowy rozwój przemysłu chemicznego stał się oczywiście możliwy dopiero wówczas, gdy nastąpiła ścisła symbioza chemii stosowanej z chemią teoretyczną i fizyczną, gdy sterowanie procesami przetwórczymi wynikało nie tylko z samej praktyki ruchowej, ale oparło się również na dokładnej znajomości całej wewnętrznej mechaniki przemian, dającej wyrazić się wzorami chemiczno-matematycznymi. Jeżeli w ciągu wielu ubiegłych tysiącleci nauka z opóźnieniem syntetyzowała i sumowała osiągnięcia zdobyte empirycznie, to w ostatnim stuleciu z reguły chemia naukowa znacznie wyprzedza praktykę chemiczną, a konsekwencje tego przestawienia ról okazały się bardzo ważkie. Przede wszystkim więc takie przewodnictwo naukowe nadało technologii chemicznej znamiona niespotykanej gdzie indziej elastyczności; odtąd historia jej rozwoju wykazuje nie tylko wielką zdolność adaptacyjną do każdorazowych warunków surowcowych, materiałowych, technicznych czy gospodarczych, ale również zdolność przebijania się — często równocześ-

---

[3] Woytinsky Wł., *Die Welt in Zahlen*, R. Mosse Buchverlag, Berlin 1926, t. IV, str. 316; United Nations, Statistical Yearbook (do 1959 r.); Haber L. F., *The Chemical Industry during the Nineteenth Century*, University Press (Claredon), Oxford, 1958.

nie wieloma odmiennymi szlakami — do wytkniętego celu poprzez wszelkie trudności, niezależnie od ich natury i ich spiętrzenia.

Tak wyłaniały się od końca XVIII w. dość nagle nowe i poważne potrzeby gospodarcze: rozwijający się szybko przemysł włókienniczy nie mógł już nadal posługiwać się archaicznymi metodami bielenia tkanin w operacjach trwających wiele miesięcy ani zadowolić się dostawami namiastek sody; wprowadzenie maszyn i przedłużenie okresów pracy wywołało konieczność lepszego oświetlenia sztucznego; powracające ciągle trudności w międzypaństwowych obrotach towarowych, odczuwane tak dotkliwie podczas wojen, narzucały konieczność definitywnego uwolnienia Europy od zależności w dostawie najpierw cukru, a później niektórych barwników naturalnych, specyfików leczniczych, kamfory, saletry sodowej, tłuszczów z krajów zamorskich; szybki przyrost ludności i gwałtowny rozrost miast przemysłowych narzuciły w drugiej połowie XIX w. postulat unowocześnienia techniki rolnej i znacznego podniesienia wydajności z hektara ziemi uprawnej, przede wszystkim w krajach europejskich; w czasie pierwszej wojny światowej w granicach państw centralnych zaistniał dotkliwy deficyt produktów pochodzenia naftowego (benzyny, smarów, olejów opałowych) oraz saletry sodowej, siarki, pirytów, gliceryny itp., a ich przeciwnicy nie dysponowali na razie takimi produktami, jak niezbędne ilości ważnych węglowodorów aromatycznych, potrzebne barwniki syntetyczne, sole potasowe i niektóre — zmonopolizowane przez przemysł niemiecki — leki. Prawie wszystkie wymienione powyżej przykładowo trudności zostały dość sprawnie opanowane, a potrzeby niekiedy klasycznie i nie tylko doraźnie na okres wojny rozwiązane przez chemię teoretyczną i stosowaną.

Należy wreszcie podkreślić, że w ciągu ostatniego stulecia (1851—1950) przemysł chemiczny nie tylko przesunął się sam z podrzędnej pozycji na jedno z naczelnych miejsc w gospodarstwie światowym, ale ponadto oddziałał twórczo i pobudzająco na wiele innych dziedzin nowoczesnego życia, techniki, a nawet i nauki. Rozwijając pioniersko metody wysokociśnieniowe przemysł chemiczny zrewolucjonizował m. in. dawne założenia techniczne central termo-energetycznych; rozwijając na największą skalę wytwórczość tlenu zmodernizował i zracjonalizował długi szereg metod technologicznych w zakresie metalurgii, w dziedzinie zgazowania paliw stałych, w reakcjach utleniania substancji organicznych itp.; rozbudowując tak intensywnie produkcję chloru elektrolitycznego przemysł chemiczny zmienił gruntownie metody bielenia tkanin, oczyszczania wód i ścieków, wytwarzania niektórych półproduktów organicznych itd.; tworząc i rozwijając metody katalityczne, katalityczno-ciśnieniowe, zastępując procesy okresowe procesami ciągłymi przemysł chemiczny wywołał stopniowo całkowitą zmianę pracy przetwórczej w przemyśle rafineryjno-

naftowym i umożliwił powołanie do życia szeregu nowych działów produkcyjnych tak ważnych, jak np. tworzywa sztuczne lub rozpuszczalniki selektywne. Systematyczny postęp i nieustanna ewolucja chemii teoretycznej, korzystającej obficie z doświadczeń i osiągnięć chemii przemysłowej, umożliwiły w następnym etapie powstawanie nowych, samodzielnych gałęzi wiedzy, jak chemia farmaceutyczna, fizjologiczna, elektrochemia, inżynieria chemiczna, chemia jądrowa etc.

Tak w największym skrócie i w uproszczeniu perspektywicznym wygląda jedna strona bilansu, wyznaczająca historyczne ślady wszechstronnego i tak bardzo przyspieszającego się rozwoju nauk chemicznych oraz przemysłu chemicznego. Podsumowując ten bilans można objektywnie stwierdzić, że chemia reprezentuje jeden z największych, czasem wprost zdumiewających aktywów i osiągnięć współczesnej cywilizacji. Istnieje jednak i druga strona tego bilansu, nie zawsze tak samo pozytywna jak pierwsza.

Nie można bowiem pominąć faktu, że prawie wszystkie wymienione tu i niewymienione przełomowe zdobycze naukowe chemii oraz epokowe osiągnięcia technologiczne torowały sobie drogę poprzez niezliczone przeciwieństwa i opory do zrozumienia i uznania, a choćby tylko do wykorzystania. Prawie każda nowa i słuszna zasada, płodna teoria, hipoteza, nowe odkrycie lub naświetlenie skomplikowanego mechanizmu reakcji chemicznych, prawie każda nowa, przebojowa myśl twórcza napotykała z reguły na zdecydowany opór, rozliczne trudności i sprzeciwy, na zawiść uznanych autorytetów, często na zgryźliwą krytykę, a prawie zawsze na obojętność i przemilczenie. Równocześnie warunki rzeczowe, w których rodziły się te właśnie historyczne zdobycze i osiągnięcia urągały nie sporadycznie najelementarniejszym wymaganiom i potrzebom. Intuicja pionierska zaś kończyła się czasem dla swoich głosicieli nad wyraz niepomyślnie.

Jeżeli nawet niektóre z tych trudności wydają się nam dziś śmieszne, nie zmienia to faktu, iż działały one wówczas skutecznie na rzecz doraźnego zahamowania postępu. Właśnie na tego rodzaju opory natknęło się np. rodzące się na przełomie XVIII i XIX stulecia gazownictwo węglowe. Od chwili gdy W. Murdoch w 1792 r. oświetlił gazem swój dom w Redruth w Anglii upłynęło prawie 20 lat zanim konserwatywnie nastawione władze miejskie zdecydowały się na oświetlenie gazem całej dzielnicy w Londynie. Ale i ten przykład nie usunął, dalszych oporów i trudności. Gdy powstała myśl zbudowania gazowni w Kolonii, w Niemczech, pismo „Cölnische Zeitung" z 28.III.1819 r. wystąpiło z obszerną i ostrą a nawet śmieszną argumentacją przeciwko takiemu projektowi[4].

[4] Schnabel-Kühn, *Die Steinkohlengas-Industrie*, R. Oldenburg Verlag, München 1910, str. 22—23.

W innych przypadkach podobne konflikty miały charakter bardziej poważny. Tak np. przełomowe — z punktu widzenia dalszego rozwoju chemii — ustalenia jednego z najwybitniejszych badaczy francuskich XVIII w., Lavoisiera, obalające błędne założenia i wnioski teorii flogistonowej, choć uderzały swoją jasnością i oczywistością oraz po raz pierwszy oparły się o sprawdziany ilościowe, nie przekonały wielu z czołowych chemików starszego pokolenia, konserwatywnych wyznawców teorii flogistonowej. Niektórzy z nich nawet nie usiłowali sprawdzać faktów eksperymentalnych podanych przez badacza francuskiego, lecz z uporem poszukiwali za sposobami przeciwdziałania, odwołując się do najfantastyczniejszych argumentów dla obalenia słusznej teorii spalania, głoszonej przez Lavoisiera[5].

Inna wybitna jednostka zapisana chlubnie w dziejach chemii, Leblanc, twórca przemysłu sodowego, cierpiąc krańcową nędzę i widząc jak jego myśl zdobywa uznanie w Anglii, a lekceważona jest w kraju ojczystym, kończy życie samobójstwem w 1806 r. w przytułku dla biednych w St. Denis.

Ogłoszona w 1811 r. niezmiernie ważna teoria Avogadry, późniejszego profesora uniwersytetu w Turynie, wskazująca że w jednakowych objętościach różnych gazów, w identycznych warunkach temperatury i ciśnienia, znajdują się równe ilości cząsteczek, podtrzymana w 1814 r. przez wybitnego uczonego A m p è r a, została początkowo całkowicie zignorowana i zlekceważona przez innych uczonych; wprowadzono ją do nauki dopiero w 1860 r., tj. w cztery lata po śmierci jej twórcy. Natomiast dokonana w latach dwudziestych ubiegłego wieku przez Wöhlera synteza mocznika, która później stała się drogowskazem dla syntezy tysięcy produktów organicznych, wywołała wrzawę sprzeciwów tzw. witalistów, przeczących możliwości wytwarzania związków organicznych z nieorganicznych materiałów wyjściowych. Walka trwała ok. 20 lat i dopiero dokonanie pełnej syntezy kwasu octowego z pierwiastków przez Kolbego (w 1845 r.) zdecydowało o zwycięstwie tezy Wöhlera. Również teoria dysocjacji Arrheniusa[6] — wsparta na długim łańcuchu wcześniejszych prac takich badaczy, jak Nicholson i Carlisle, Grotthuss, Davy, Faraday, Gay-Lussac, Hittorf, Clausius, Valson, Berthelot, Kohlrausch, Raoult i in. — teoria, która nieco później okazała się jako jedna z najbardziej wnikliwych i owocnych w skutki, która zintensyfikowała pośrednio rozwój procesów elektrolitycznych do rozmiarów głównych gałęzi przemysłowych świata, była przyjęta niechętnie i początkowo igno-

[5] Lockemann G., *Geschichte der Chemie*, t. II, Göschen-Sammlung, Berlin 1955, str. 7.

[6] Bugge G., *Das Buch der grossen Chemiker*, t. II. Verlag Chemie, Weinheim 1955.

rowana. Wreszcie jakże wymownym, a zarazem drastycznym, przykładem jest gigantyczna praca Marii ze Skłodowskich i Piotra Curie, która pod koniec ubiegłego wieku doprowadziła do odkrycia pierwiastków polonu i radu, a więc tej grupy substancji i tych zjawisk, z których później wyrosła i spotężniała cała chemia atomowa. W ciągu czterech lat wyczerpującej pracy małżonkowie Curie przetworzyli w drewnianej szopie, pozbawionej prymitywnych nawet zabezpieczeń i urządzeń laboratoryjnych kilka ton blendy uranowej, aby wydobyć z niej jedną dziesiątą grama chlorku radowego. Wyniki ostateczne tych prac były tak oczywiste i niezawodnie sprawdzalne naukowo oraz tak głośne w całym świecie, że nie mogły być ani zwalczane, ani nawet przemilczane.

Tego rodzaju przykładów, może nawet jeszcze jaskrawszych i wymowniejszych, możnaby przytaczać długie szeregi. Dzieje powstawania przemysłu cukrowniczego w Europie, rejestr pokonanych trudności i ogrom pełnej inwencji pracy w zakresie np. syntezy barwników, produktów azotowych lub wytwarzania półproduktów organicznych, uparte, a w ciągu całych dziesięcioleci bezowocne wysiłki Kippinga, chemika angielskiego, które w końcu stały się drogowskazem dla syntezy związków krzemoorganicznych, zawrotnie wielka ilość przebadanych substancji i wypróbowanych reakcji w celu uzyskania kilku nowych i wartościowych leków, wielokrotne zawody w pracy nad scukrzaniem celulozy itd., są pouczającymi przykładami, świadczącymi, że najczęściej każde wielkie i prawdziwe osiągnięcie naukowe i przemysłowe kosztowało ogrom twórczej, czasem bezimiennej pracy i wysiłku, realizowanego zwykle w bardzo ciężkich i trudnych warunkach.

Jeżeli nawet zachodziły przypadki niezwłocznego uznania i zgodnego akceptowania niektórych odkryć czy nowości, to były to te właśnie charakterystyczne wyjątki, które istnieją po to, aby potwierdzić regułę. Taki właśnie przypadek zdarzył się wielkiemu badaczowi, Priestleyowi. Gdy odkrył on dwutlenek węgla i w obecności członków „College of Physicians" wytworzył pierwszą szklankę wody sodowej, podziw był tak głęboki, a uznanie było na tyle powszechne, że czołowa instytucja naukowa „Royal Society" w Londynie przyznała Priestleyowi złoty medal.

Dopiero na tle tego syntetycznego obrazu, określającego charakter i kierunki rozwoju chemii można konkretniej rozważyć i ustalić założenia, które odpowiadają celom i zadaniom historii chemii czystej i stosowanej. Przede wszystkim więc gdy zadaniem głównym nauk chemicznych i technologicznych jest przekazywanie zwartego, scałkowanego i logicznie zamkniętego kompleksu wiedzy oraz referowanie aktualnego stanu osiągnięć, to punkt widzenia historii w odniesieniu do tej samej sumy faktów i zjawisk musi być ustawiony inaczej. Pod wpływem analizy historycznej rozliczne wyodrębnione fragmenty poczynają ujawniać swój

własny ciężar gatunkowy i własne siły kształtujące oraz specyficzną wartość twórczą.

Wówczas to na plan pierwszy wysuwa się człowiek, jego wiedza i koncepcja twórcza, suma jego pracy i wytrwałości, a wnikliwej ocenie krytycznej musi być poddana najpierw wytyczona droga realizacji tej koncepcji łącznie ze wszystkimi błędami i niedociągnięciami oraz przeciwnościami lub oporami, a następnie sytuacja faktyczna w zakresie stojących do dyspozycji środków technicznych i gospodarczych. W rachunku tym musi być uwzględniony również czynnik czasu oraz oceniony istotny wkład naukowy, wreszcie przeanalizowane muszą być główne konsekwencje wtórne każdego osiągnięcia pionierskiego. Dla historii bowiem droga przebyta od chwili pierwszego skrystalizowania się twórczej koncepcji aż do jej realizacji czy powszechnej akceptacji, choćby była długa i pełna zakrętów, jest nie mniej interesująca i ważna od jej treści merytorycznej. Dla historii musi być obca wszelka tendencja zajmowania się samymi tylko osiągnięciami naukowymi albo przemysłowymi przy przechodzeniu do porządku lub choćby tylko pomniejszaniu wkładu twórczej pracy ludzkiej, mierzonej w skali aktualnych warunków i realnych możliwości. Dla historii wreszcie każdy nowy fakt i odkrycie tkwi zawsze swoimi korzeniami w przeszłości. Oto pierwsza zasada, którą historia nauki i przemysłu musi zachować stale w swoim polu widzenia.

Jeżeli współcześnie żadne opracowanie historyczne nie może być ograniczone do kronikarskiego, chronologicznego uszeregowania faktów, to w odniesieniu do historii chemii teoretycznej i przemysłowej założenie to ma wielokrotnie większe i obowiązujące znaczenie. Jej naczelnym zadaniem jest przecież nakreślenie obrazu ciągłej ewolucji chemii, ciągłego rozwoju i postępu, nie znającego — przynajmniej na przestrzeni ostatnich 150 lat — ani zjawiska zastoju czy recesji, ani nawet chwilowych załamań ogólnych. Toteż historia musi wyjaśnić i uzasadnić przyczyny tego zjawiska oraz ocenić siły tych motorów, które w przeszłości i obecnie wywoływały, wywołują i będą wywoływać przejawy intensywnej twórczości i wszechstronnej aktywności. Analiza ta wykaże zarazem, że zbliżając się do czasów najnowszych liczba nowych odkryć naukowych i nowych realizacji przemysłowych poczyna wzrastać w zawrotny sposób. Historia ma za zadanie nie tylko wyjaśnić istniejące powiązania pomiędzy tymi faktami, ale ponadto wydobyć na powierzchnię utajoną syntezę krzyżujących się tendencji naukowych i przemysłowych, otwierających nowe i szerokie drogi do jeszcze znakomitszych osiągnięć oraz zdobyczy. To jest drugie zadanie, które wypełnić powinna historia rozwoju chemii czystej i stosowanej.

Już z dotychczasowych rozważań wynika bardzo ważka teza, że między ewolucją chemii przemysłowej i rozwojem chemii teoretycznej istnie-

je ścisły i organiczny związek. Jednym z najskuteczniejszych, najsilniejszych i najistotniejszych motorów tak szybkiego zróżnicowania i rozwoju przemysłu chemicznego są wielkie osiągnięcia nauk chemicznych. Jeżeli możliwe jest — przynajmniej w zasadzie — kreślenie zarysu dziejów chemii teoretycznej bez konieczności ciągłego odwoływania się do stanu i osiągnięć chemii przemysłowej, to zadanie odwrotne, a więc omawianie dziejów przemysłu chemicznego bez genetycznego powiązania z postępem naukowym jest praktycznie niewykonalne, a dydaktycznie nieracjonalne. W niniejszym syntetycznym opracowaniu zainteresowanie główne skupia się na dziejach rozwoju przemysłu chemicznego, ale przy założeniu, że istotnym fundamentem tego rozwoju są wielkie zdobycze i osiągnięcia chemii ogólnej i fizycznej. To trzecie ważne ustalenie, które niniejsza książka przyjmuje jako swój główny drogowskaz.

Materiały źródłowe, którymi posługuje się historia chemii naukowej są bardzo obfite, a ich różnorodność i szczegółowy charakter mogą powodować dla nowych opracowań syntetycznych nawet pewne trudności; materiały dotyczące historii przemysłu chemicznego, jakkolwiek jest on w wielkiej mierze tworem stosunkowo świeżej daty, są raczej skąpe, niepełne i w znacznym stopniu rozproszone. Precyzując ten stan rzeczy można by dodać, że obraz osiągnięć materialnych w okresie prehistorycznym i starożytnym jest stosunkowo dość dokładnie wyjaśniony. Wprawdzie dużo dowodów historycznych z tego okresu uległo całkowitemu zniszczeniu, to jednak istnieją zarówno cenne informacje asyryjskie zapisane na tabliczkach glinianych oraz papirusy staroegipskie, szczególnie z okolicy Teb i Memfisu odkryte w XIX., jak i liczne pisma filozofów, historyków i lekarzy greckich oraz sprawozdania autorów starorzymskich. Ostatnio systematyczne badania i znaleziska archeologiczne dostarczyły dużo cennego i nowego materiału. Znacznie słabiej reprezentowane są wiarygodne informacje źródłowe z okresu alchemii średniowiecznej. Wprawdzie i w tym przypadku zabytki rękopiśmienne zgromadzone w różnych bibliotekach są bardzo obfite[7], ale właśnie to, co zachowało się jest pisane językiem pełnym symboliki, pojęć mistycznych i przenośni alegorycznych, a informacje rzeczowe zatopione są w powodzi ujęć czysto literackich nie dając jasnego wglądu w całokształt sytuacji faktycznej. Również autorstwo tych opracowań oraz daty ich powstania budzą najczęściej poważne wątpliwości. W czasach nowożytnych, przynajmniej w pewnych okresach, przywiązywano duże znaczenie do historii rozwoju chemii naukowej, toteż prace wydane drukiem są liczne i często bardzo wyczerpujące.

[7] Porównaj przypisy w książce Ganzenmüllera W. *Beiträge zur Geschichte der Technologie und der Alchemie*, Verlag Chemie, Weinheim 1956.

POLITECHNIKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA

Wreszcie należy rozważyć pewne zagadnienia i komplikacje związane z koniecznością podziału historii rozwoju chemii na okresy. Jest zrozumiałe, że rozgraniczenia te nie mogą być w omawianym przypadku dostatecznie precyzyjnie i ściśle zarysowane. Toteż w literaturze stwierdza się pewną dowolność i tolerancję w odniesieniu do stosowanej systematyki podziałowej. Na ogół dość jednomyślnie przyjmuje się ogólnohistoryczny podział na epoki: starożytną, średniowieczną i nowożytną, przy zachowaniu konwencjonalnych dat rozgraniczenia. Niemniej jednak — jeżeli idzie o tematykę historyczno-chemiczną — występują pewne rozbieżności, gdy przeprowadza się podział czasów nowożytnych na okresy. Te różnice wynikają przede wszystkim z odmiennego ustalania celów i założeń dla danego opracowania. Tak np. historycy chemii teoretycznej przyjmują dość często lata 1828—30 jako datę rozgraniczającą i przełomową, powołując się na to, że dalszy rozwój chemii organicznej powiązany jest ściśle z przeprowadzoną w 1828 r. syntezą mocznika. Jeżeli jednak na to samo zagadnienie spojrzy się pod kątem widzenia zainteresowań chemii przemysłowej, wówczas datę rozgraniczającą trzeba będzie przesunąć na termin nieco późniejszy, mianowicie na rok 1856.

Aby przy ustalaniu okresów historycznych ograniczyć jak najbardziej wszelką dowolność i przypadkowość przyjmuje się dla niniejszego opracowania następujące dwa wskazania ogólne:

1. Historia rozwoju chemii czystej i stosowanej jest związana organicznie i bezpośrednio z całokształtem historii politycznej, społecznej, kulturalnej, cywilizacyjnej i ogólnotechnicznej. Fakty dominujące w tych dziedzinach nie mogą więc pozostać bez wpływu na ustalenie okresów historycznych obowiązujących dla chemii.

2. Historia rozwoju chemii czystej i stosowanej w niniejszym opracowaniu kłaść będzie główny nacisk bądź to na przełomowe osiągnięcia przemysłowe, bądź też na te rozwiązania teoretyczne i ogólne, które w przyszłości wycisną piętno na dalszym rozwoju chemii.

W ten sposób dochodzi się do ustalenia następującego podziału historii nowożytnej chemii i przemysłu chemicznego na okresy:

1. Wiek XVI i XVII odcinają się wyraźnie od okresu średniowiecza przez udostępnienie słowa drukowanego i powszechnie rozbudzony zmysł krytycyzmu w czasach odrodzenia i reformacji, a w konsekwencji przez usamodzielnienie się i rozwój nauk przyrodniczych. Odkrycie kontynentu amerykańskiego zwiększyło nie tylko zasoby monetarne w Europie zachodniej i nie tylko zmieniło oś gospodarczą w przestrzeni, ale również spotęgowało zasoby surowcowe, co wpłynęło na przyspieszenie procesów rozwojowych w dziedzinie chemicznej. Ponieważ zaś okres ten stanowi przejście od średniowiecznej alchemii do chemii zbudowanej na podsta-

wach naukowych, przeto celowe będzie wyodrębnienie różnych co do swego charakteru podokresów.

2. Okres następny przypada na wiek XVIII aż po rok 1789. Jest to czas panowania racjonalizmu i systematycznego wypierania z nauki i z życia resztek poglądów średniowiecza. W nauce dominuje wówczas tendencja poszukiwania przyczynowości zjawisk, w gospodarstwie społecznym konkretne rezultaty wydaje doktryna merkantylistyczna. Uwieńczeniem tego okresu jest ogłoszenie w latach 1780-ych nowej, rewolucyjnej teorii spalania przez Lavoisiera oraz skrystalizowanie się tendencji tworzenia zaczątków przemysłu chemicznego o charakterze fabrycznym, w oparciu o podstawy naukowe.

3. Następny etap obejmujący lata od 1790 do 1855 to początkowy okres tzw. rewolucji przemysłowej, związanej z wprowadzeniem maszyn do przemysłu. Rewolucje polityczne, głównie francuska i amerykańska, wojny napoleońskie i blokada kontynentalna wywierają znaczny wpływ m. in. na rozbudowę przemysłu chemicznego. Powstaje w tym czasie przemysł sodowy, przemysł kwasów nieorganicznych i środków bielących, przemysł nawozowy, cukrowniczy, koksowniczy i gazowniczy itp. Chemia naukowa na podstawie epokowego dzieła Lavoisiera stwarza podwaliny pod rozwój badań ilościowych, a konsekwencje tego faktu są wszechstronne i bardzo owocne.

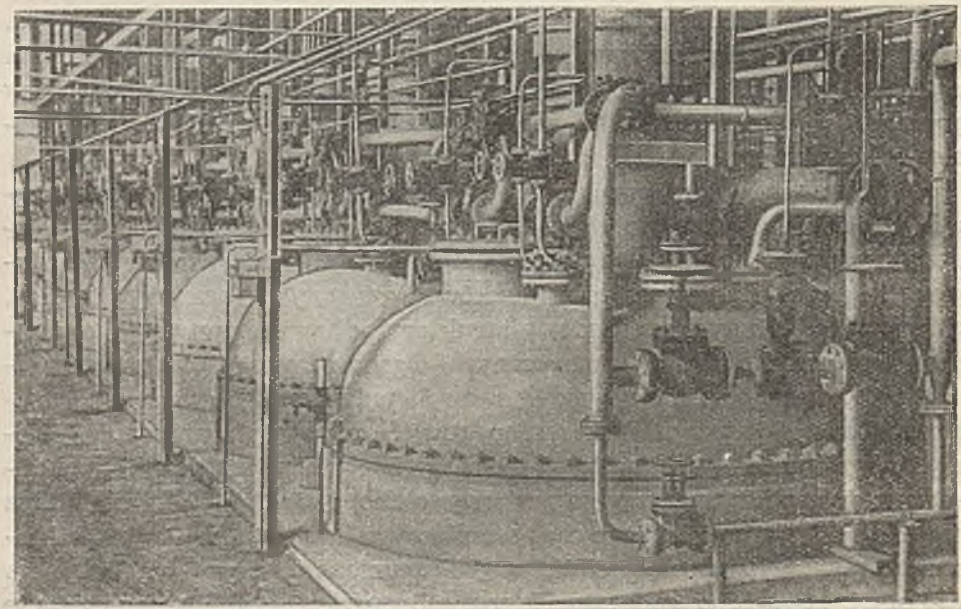
4. Całkowita emancypacja chemii jako nauki i jako przemysłu nastąpiła w okresie od 1856 do 1895. Przełomowym i podstawowym osiągnięciem naukowym tego czasu jest stworzenie i ogłoszenie przez Mendelejewa „okresowego układu pierwiastków chemicznych" oraz wyjaśnienie, głównie przez Kekulégo, budowy strukturalnej związków węgla, a przede wszystkim związków aromatycznych. Ogromne osiągnięcia przemysłowe tego okresu koncentrują się w ramach technologii organicznej. Przełomowy rok 1856 przynosi szereg epokowych zdobyczy o znaczeniu przemysłowym: w roku tym odkryto pierwszy barwnik syntetyczny i w konsekwencji zapoczątkowano gorączkowy okres badań w zakresie syntez organicznych; w tym samym czasie zastosowano w metalurgii proces bessemerowski wytwarzania stali, w koksownictwie wprowadzono piece Appolta, stworzono generator gazowy Siemensa, podjęto eksploatację soli potasowych, wynaleziono bezpieczne „zapałki szwedzkie", otrzymano czysty uran metaliczny.

5. W pierwszych latach okresu 1896—1925 dokonane zostały odkrycia o niezwykłej doniosłości dla przyszłości nauki i techniki. W 1896 r. Roentgen referuje o odkryciu promieni X; Becquerel przedstawia wyniki badań dotyczących promieniowania uranu; w roku następnym podjęto na wielką skalę produkcję syntetycznego indyga i dokonano syntezy izoprenu; w 1898 r. zostały odkryte pierwiastki promieniotwórcze, polon

i rad. W tym 30-leciu rejestruje się potężny rozwój elektrochemii oraz kilku ważnych gospodarczo syntez nieorganicznych i organicznych.

6. Okres 1926—1960, jest okresem zapoczątkowania polityki planistycznej, konsekwencji dwóch wojen światowych i wielkiego kryzysu gospodarczego, okresem budzenia się dynamizmu przemysłowego na całej kuli ziemskiej oraz czasem wszechstronnego, lawinowego rozwoju przemysłu chemicznego na podstawach ściśle naukowych. W tym okresie powstają coraz to liczniej nowe, nieznane dotychczas gałęzie przetwórcze o wielkim znaczeniu społeczno-gospodarczym, przy czym na plan pierwszy wysuwa się wielka synteza organiczna. Chemia zajmuje w gospodarstwie światowym przodujące stanowisko.

Do tego schematu zasadniczego włączono jeszcze trzy rozdziały zajmujące się — zawsze z punktu widzenia historycznego — zagadnieniami specjalnymi, którym, jak się wydaje, warto poświęcić nieco uwagi, tworząc w ten sposób bardziej aktualny i pełny obraz, posiadający szczególne zainteresowanie dla Czytelnika polskiego. Te rozdziały zajmują się następującymi tematami: ewolucją chemii atomowej, perspektywami rozwojowymi przemysłu chemicznego, ocenionymi na podstawie dotychczasowej dynamiki i już skrystalizowanych tendencji, a wreszcie rozwojem chemii i przemysłu chemicznego w Polsce.



Fragment nowoczesnej fabryki kauczuku syntetycznego

Wyraźnie trzeba jednak zaznaczyć, że w niniejszym opracowaniu jest jedynie miejsce na obraz sumaryczny i syntetyczny rozwoju chemii i prze-

mysłu chemicznego. Ma to swoje zalety i wady. Zaletą główną jest to, że cały skomplikowany proces ewolucyjny staje się bardziej zrozumiały i jasny, a tendencje rządzące tą ewolucją są bardziej przejrzyste. Wadą natomiast jest to, że wiele interesujących fragmentów rzeczowych i osobowych musi zatracić swój specyficzny wyraz w „kotle syntezy". Można tu zresztą przypomnieć, że w latach 1843—1847 H. Kopp wydał swoją „Historię Chemii" w czterech tomach, chociaż istotny i szeroko pojęty rozwój chemii czystej, a tym badziej chemii przemysłowej rozpoczął się na dobre dopiero w latach 1850. Trzeba więc dziś przeprowadzać wielokrotną selekcję istniejącego materiału, ważąc każdy fakt na wadze analitycznej, jeżeli pragnie się, aby tak zwarty i treściwy wykład odpowiadał choć w drobnej części współczesnej wielkości i znaczeniu chemii teoretycznej oraz potędze chemii przemysłowej.

Rozdział II

Wiedza przyrodnicza i chemia w zaraniu cywilizacji

Świadectwa historyczne dotyczące początków materialnej cywilizacji ludzkiej sięgają sporadycznie kilkunastu, a nawet więcej — tysięcy lat wstecz. Z upływem czasu przybywają jednak coraz konkretniejsze i przede wszystkim coraz liczniejsze dowody twórczej inwencji człowieka i realizującego się systematycznie postępu. Wreszcie od czwartego do drugiego tysiąclecia przed naszą erą wielka obfitość różnorodnych dokumentów rzeczowych wypełnia już historię gospodarstwa i techniki. Zarazem proces ewolucyjny przebiegający początkowo bardzo powoli poczyna się odtąd wyraźnie przyspieszać. Okres ten można nawet uznać za pierwszą falę dość znacznego rozwoju w dysponowaniu wytworami uzyskanymi przez wykorzystywanie metod chemicznych. Ta tendencja postępu i rozkwitu trwa odtąd nieprzerwanie aż do IV w. n.e., z tym tylko zastrzeżeniem, że szczytowe natężenia rozwojowe przesuwają się lub rozszerzają nieustannie w przestrzeni geograficznej z nad dorzeczy Indu czy Eufratu i Tygrysu na dorzecze Nilu, obejmując stopniowo różne centra w Małej Azji, niektóre wyspy, jak Kreta, a wreszcie całą starożytną Grecję ze wszystkimi archipelagami i obszarami jej kolonizacji. Prawie równocześnie następuje intensywny rozwój w zasięgu działalności i ekspansji fenicko-kartagińskiej, aby wreszcie utrwalić się na dłuższy okres w obrębie potężnego i obszernego imperium rzymskiego. Zupełnie niezależnie od tego obfite ślady wysoko rozwiniętej cywilizacji techniczno-gospodarczej pozostały na obszarach Dalekiego Wschodu i to z okresów być może jeszcze wcześniejszych niż na ziemiach śródziemnomorskich.

Również pozamaterialny dorobek starożytności nie może być pominięty. W ostatnim tysiącleciu przed n.e. rozkwita bujnie nauka o przyrodzie jako część składowa filozofii ogólnej. Oczywiście, iż nie mogło być jeszcze mowy ani o teoriach, ani o procesach definiowanych jako procesy chemiczne, pogłębiano jednak coraz bardziej lub naświetlano coraz wnikliwiej te tematy, które w przyszłości stanowić będą istotną część chemii teoretycznej i praktycznej.

Ilekolwiek też zdumiewających osiągnięć inwencji i rozumu rejestrują te odległe wieki, nie wolno ani na chwilę zapominać, że byłoby rzeczą najzupełniej niewłaściwą zarówno podkładać dzisiejsze pojęcia, jak i stosować obecne mierniki lub zestawiać współczesne tendencje z pojęciami, osiągnięciami i tendencjami starożytności. Wszystko ówczesne było zupełnie inne, różne jakościowo i ilościowo oraz odmienne pojęciowo od tego, co stanowi świadomą i podświadomą treść życia pokolenia dzisiejszego. Najczęściej całe gospodarstwo i prawie cała technika była wówczas zamknięta w obrębie zadań i dyspozycji domowych. Jeżeli nawet niektóre dziedziny produkcji zostały zorganizowane na wyższym poziomie i pracowały dla potrzeb rynkowych, to miały one prawie wyłącznie charakter rzemieślniczy. Drogi komunikacyjne były przeważnie nieustalone i ciężkie do przebycia; uzyskanie obcych surowców — pomimo dość znacznego rozwoju handlu, szczególnie morskiego — najeżone było trudnościami; nie dysponowano środkami zabezpieczającymi przewożony towar przed zepsuciem; ilość pieniędzy, mających obsługiwać wymianę towarową, była dość nikła. Prawie jedyną „aparaturą" mogącą służyć celom badawczym był sam rozum ludzki, przebijający się z trudem przez grube pokłady przesądów i fałszywych wyobrażeń, dla których brakowało ustalonych kryteriów i sprawdzianów. W starożytności uczony nie rozporządzał najmniejszym nawet ułamkiem tych środków pomocniczych oraz powszechnie i autorytatywnie uznanych prawideł i drogowskazów, którymi dysponuje współcześnie każda pracownia naukowo-badawcza i każdy pracownik twórczy. Przez całe wieki w umysłach górowała metafizyka nad rozumieniem fizycznym i chemicznym.

Niemniej jednak w omawianej tu dziedzinie, podobnie zresztą jak i w wielu innych przejawach pionierstwa twórczego, a więc w literaturze, sztuce, teatrze, w urbanistyce i w architekturze, w astronomii i w matematyce, w anatomii i w medycynie a nawet w zakresie żeglugi morskiej, obrony, zawodów sportowych itd., świat starożytny w tej znikomo małej resztce, która przetrwała niwelujące i niszczące działanie kilkudziesięciu wieków, pozostawił świadectwa najwspanialszych osiągnięć. Przecież niejednokrotnie świadomość naszego pokolenia doznaje olśnienia w obliczu potężnego dorobku myślowego i rzeczowego starożytności, osiągniętego bez wszelkich środków pomocniczych i prawzorów, elementarnego choćby wyobrażenia o mechanizmie reakcji chemicznych oraz jakiejkolwiek kontroli analitycznej i z reguły bez możliwości czerpania z wiedzy nagromadzonej już w przeszłości. Gdyby jednak szło o zdobycze spekulatywno-myślowe, to wydaje się, iż rozwit filozofii przyrodniczej doszedł do szczytowego poziomu w starożytnej Grecji, tak jak rozwój wytwórczości typu chemicznego święcił już wcześniej wielkie triumfy w Egipcie faraonów.

Filozofia przyrodnicza sformułowana i rozwinięta w czasie od VII do IV w. przed n.e., chociaż miała cechy intuicyjne, dogmatyczne i chociaż nie opierała się na poznawczym materiale doświadczalnym, była — jak tyle płodów ducha starogreckiego — nie tylko dociekliwa i twórcza, konstruktywna i głęboka, ale również demonstrowała niezwykle ruchliwą i indywidualistyczną psychikę narodową swoich twórców. Grecy z reguły byli doskonałymi obserwatorami, mieli umysłowość głęboko analityczną, nastawieni byli raczej krytycznie do zbyt apodyktycznych twierdzeń, mieli niewątpliwie ducha przekory i chętnie prowadzili spory, ale cenili logikę dowodzenia; byli skłonni do podziwiania potężnych sił przyrody i zjawisk żywiołowych, ale niechętnie ulegali pojęciom abstrakcyjnym, byli ambitni, zapalczywi i uparci w podtrzymywaniu swego przekonania, lecz równocześnie niezwykle wrażliwi na siłę dowodzenia i piękną formę wypowiedzi. Znalazło to realne odbicie w wytworzonym przez Greków światopoglądzie. W rezultacie starożytna Grecja sformułowała nie jeden zwarty i ogólnie przyjęty pogląd na sprawy przyrodnicze, ale kilka odmiennych filozofii, zróżnicowanych tez i doktryn, które stały się później zaczynem wielowiekowych sporów naukowych, a może też i najistotniejszych osiągnięć rozumu ludzkiego.

Pierwszym filozofem greckim kładącym nacisk na zagadnienia przyrodnicze był współczesny Solonowi Tales z Miletu (624 — 546) [1]; ulegając potędze żywiołu morskiego on pierwszy określił wodę jako początek wszechrzeczy. Odtąd wielu myślicieli, często nie wdając się jeszcze zbyt szczegółowo w sprawę wewnętrznej budowy materii, dopatrywało się w różnych czynnikach fizycznych genetycznego początku bytu albo też w oderwanych symbolach tej siły, która koordynuje zachodzące we wszechświecie zjawiska.

Tak np. Anaksymenes (585—525) widzi praźródło wszechrzeczy nie jak Tales w wodzie, ale w *pneuma*, tj. w powietrzu. Ksenofanes z Kolofonu (VI w. przed n.e.), głosząc doktrynę „jedności tego wszystkiego, co istnieje" przypisuje ziemi fundamentalne znaczenie; Heraklit (540—480) zaś, pierwszy głosiciel zasady ewolucyjnej, dostrzegający w prawach przyrody najwyższą siłę kształtującą życie, uważa wciąż zmienny, stale wygasający i odnawiający się ogień za symbol bytu i niebytu. Takim założeniom przeciwstawia swój pogląd wielki matematyk grecki, Pitagoras z Samos (582—493), który za główny czynnik szeregujący, klasyfikujący i porządkujący w całym kosmosie pragnie uważać *ho aritmos*, tj. liczbę.

Stopniowo jednak w miarę rozwoju nauk i dociekań filozoficznych wielu innych myślicieli greckich usiłowało przeniknąć tajniki wewnętrz-

[1] Daty podawane w tym rozdziale są tylko w przybliżeniu ścisłe; różne źródła podają daty dość poważnie różniące się od siebie.

nej struktury materii. Już uczeń Talesa, Anaksymander (610—547) twierdzi zdecydowanie, że istnieje w świecie jeden pierwiastek, *apeiron*, z którego zbudowane są substancje o różnych właściwościach. Takie ogólne stwierdzenie usiłuje pogłębić Anaksagoras z Klazomene (500—428), dążąc do wyjaśnienia wszystkich zaobserwowanych zjawisk metodą — w ówczesnym rozumieniu — naukową i przyrodniczą. Sądzi on, iż każda substancja i każde ciało zbudowane jest z podobnych do siebie, ale nie identycznych mikrocząsteczek, nazywanych *homeomerami*. One to są *spermata panton chrematon*, czyli praziarnami lub pranasionami wszystkich rzeczy. Tezy te wzbudziły najszersze zainteresowanie w naukowym świecie Grecji, toteż stały się niebawem potężnym zaczynem nowych myśli i nowych sformułowań filozoficzno-przyrodniczych. Z jednej strony dwaj wybitni myśliciele: Leukippos z Miletu (jego główna działalność przypada na połowę V w. przed n.e.) i jego uczeń Demokryt z Abdery (460—371) zakładają mocne podwaliny pod rozbudowę wszechstronnie przemyślanej teorii atomowej. Według tej nauki wszystkie twory materialne złożone są z nierozróżnialnych przez ludzkie zmysły, mikroskopijnych, niepodzielnych i niezniszczalnych cząstek — zwanych *atoma* — zróżnicowanych jakościowo co do kształtu, które poruszają się lub krążą nieustannie w pustej przestrzeni. Wszystkie przejawy zmian w otaczającym świecie i w samym człowieku są wynikiem ruchu, rozmieszczenia, stężenia i wymieszania takich cząstek. Swój wybitnie racjonalistyczny i materialistyczny światopogląd podsumowuje Leukippos w twierdzeniu, że każda rzecz i każde zjawisko musi mieć właściwą sobie, a rozumowo stwierdzalną i logiczną przyczynę, gdyż nic nie może powstać i nie powstaje z niczego. Temu filozofowi przypisuje się też autorstwo dzieła „O wielkim porządku świata". Obaj zaś, Leukipp i Demokryt, wywarli w ciągu wielu wieków duży wpływ na poglądy przyrodnicze takich filozofów i pisarzy starożytnych, jak Epikur (342—270) czy Lukreciusz (96—55), a nawet i znacznie późniejszych jak Galileusz, Gassendi i in. Z drugiej strony Empedokles z Agrigentu (483—424), jeden z najsubtelniejszych i najbłyskotliwszych umysłów starożytności, syntetyzując wcześniejsze poglądy przyjmuje istnienie różnych prapierwiastków. Nawiązując do pojęć i teorii starobabilońskich, iż wszystko, co istnieje na ziemi, jest odpowiednikiem lub odbiciem wszechświata, wywodzi, że czterem głównym planetom odpowiadają na ziemi cztery prapierwiastki: woda, ziemia, ogień i powietrze. Ich przeciwstawne właściwości są przyczyną oddziaływania jednych substancji na drugie i powstawania różnorodności zjawisk i przedmiotów.

Już jednak w IV w. przed n.e. teoria atomowa Leukippa i Demokryta była mocno podważona i zachwiana w starożytnym świecie naukowym. Z upływem lat traciła ona wielu wyznawców, aż wreszcie na długie stu-

lecia została wyrugowana z dorobku przyrodniczego, a następnie zapomniana. Stało się to na skutek wypracowania i rozpowszechnienia odmiennych poglądów przez Platona (427—347), a przede wszystkim przez Arystotelesa (384—322) i jego szkołę. Jest sprawą wysoce znamienną, że ci wybitni i tak płodni filozofowie, którzy zbudowali w starożytności potężny gmach nauk moralnych i politycznych, odrzucając hipotezę atomową i zakładając pojęcie ciągłości materii, nie tylko przeszli do porządku nad osiągnięciami myślowymi takich uczonych jak Demokryt, ale ponadto upraszczając złożone zagadnienie budowy materii, naginali je — oczywiście tylko metodologicznie — do swych głównych i wielkich koncepcji filozoficznych i społecznych. Tak jak tam centralne zainteresowania skupiały się nie tyle na samych społeczeństwach czy na jednostce ludzkiej, ile raczej na jej uzdolnieniach, właściwościach i na prawach, którym ona ma podlegać, tak też i dla zjawisk przyrodniczych przyjęto jako założenie naczelne, że sprawą wielokrotnie ważniejszą i istotniejszą od badania hipotetycznej wewnętrznej budowy materii są jej konkretne właściwości, uchwytne i sprawdzalne bezpośrednio. Nie prapierwiastki i nie budowa atomowa decydują o tym jak w istocie rzeczy przejawiać się będzie materia, ale takie jej właściwości, jak zimno i ciepło, wilgotność czy suchość. Nauka arystotelesowska podawana zawsze w wykwintnej formie filozoficznej, pełna stwierdzeń faktycznie lub pozornie oczywistych, bliższa świadomości ludzkiej niż teoria atomowa Demokryta, podmurowana niewątpliwym autorytetem naukowym jej twórcy, rozpowszechniła się szybko po całym świecie. Z imperium rzymskiego, głównie poprzez Egipt, przeniknęła do nauki arabskiej i stała się w przyszłości jedną z podstaw myślowych alchemii i wiarą jej zapalonych adeptów, przyjmujących za dogmat, że przez odpowiednią zmianę właściwości dochodzi się do przebudowy samej istoty materii, a więc i przemiany pierwiastków. Ta myśl opanuje wreszcie wiele umysłów ludzkich na przeciąg dziesięciu stuleci.

Zagadnieniami przyrodniczymi zajmowało się w starożytności również wielu innych światłych ludzi: filozofów, historyków, lekarzy i pisarzy. Tak np. w IV w. przed n.e., Ksenokrates, tworząc systematykę nauk filozoficznych, obok logiki i etyki wyodrębnia fizykę jako wiedzę o prawidłach rządzących i związanych z materią; Teofrast (380—288) rozwijał w swoich pismach wszechstronnie nauki przyrodnicze, a w pracy „*O skałach*" zamieścił nie jedną cenną informację z zakresu mineralogii i chemii. Epikur zaś nie tylko nawraca — po dłuższej przerwie — do teorii atomowej Leukippa i Demokryta, ale co ważniejsze uzupełnia ją nową i ważką cechą atomów, mianowicie zróżnicowanym ciężarem. Na początku naszej ery zjawiają się też pisarze, którzy obrazują dość szczegółowo stan wiedzy i osiągnięć praktycznych w zakresie chemiczno-przyrodniczym. Do najwybitniejszych w tej grupie należą: Gajus Plinius (starszy),

żyjący w latach 23—79, który w swojej pracy *Historia Naturalis* szereguje prawie encyklopedycznie informacje o znanych i stosowanych substancjach albo też o metodach ich wytwarzania oraz żyjący w tym samym wieku Grek, Pedanios Dioskorides z Anazarbos, lekarz i chirurg wojsk rzymskich stacjonowanych w Małej Azji, autor wydawanego wielokrotnie w ciągu wieków podręcznika farmakologii *De materia medica*, w którym m. in. uzupełnia i rozwija informacje podane wcześniej przez Pliniusa.

Zupełnie niezależnie od tego dorobu pojęciowego i pisarskiego, z upływem kolejnych stuleci okresu starożytnego, zaczynają się mnożyć bardzo poważne osiągnięcia praktyczne. Jest zdumiewające, że te fundamentalne dla przyszłego rozwoju zdobycze obejmują prawie całą zasadniczą problematykę życiową ludzi i społeczeństw, gdyż dotyczą takich podstawowych zagadnień jak budownictwo, ubranie, wyżywienie, potrzeby gospodarstwa domowego, uzbrojenie oraz pomoc lecznicza w chorobach i cierpieniach; sporadycznie ujawniają się też niektóre bardziej subtelne, a czasem nawet wyrafinowane potrzeby środowisk i ludzi, osiągających względnie wysoki dobrobyt i poziom cywilizacyjny. W związku z tym należy jeszcze raz podkreślić, że te najczęściej proste, a mimo to bardzo ważkie, trudne i bardzo płodne odkrycia osiągnięte zostały w szczególnie trudnych i ciężkich warunkach, bez wszelkiego oparcia naukowego, bez zasobów doświadczenia technologicznego i bez wszelkich pomocy materiałowych i aparaturowych. Na tej jeszcze ciemnej drodze ku postępowi jedynym źródłem światła mógł być tylko rozum ludzki.

Z listy bilansującej ówczesne osiągnięcia, należy wysunąć na pierwsze miejsce zagadnienia związane z rozwojem metalurgii. Ona bowiem oznacza najbardziej doniosły przełom: koniec epoki kamiennej i przesunięcie ludzkości na wyższy poziom techniczny i cywilizacyjny; metalurgia jest powiązana najściślej z opanowaniem metod przetwórczych typu chemicznego i stała się już wówczas dostawcą różnorodnych materiałów, które służyły do wyrobu uzbrojenia, budowy gmachów reprezentacyjnych i świątyń, do konstrukcji mostów i wodociągów, produkcji niektórych narzędzi i naczyń domowego użytku, do wyrobu ozdób, części pomocniczych dla statków morskich oraz do produkcji mierników i środków płatniczych przy wymianie towarów i usług.

Wszelkie próby ustalania historycznej kolejności poznawania i zastosowania przez ludzkość poszczególnych metali, rozgraniczania epok brązu i żelaza oraz określania będących do dyspozycji metali i ich stopów w okresie archaicznym są dość zawodne i muszą budzić różne wątpliwości i zastrzeżenia. Najprawdopodobniej w różnych środowiskach etnicznych rozwiązywano te zagadnienia w różnych czasach i niezależnie od siebie. Ogólnie można przyjąć, że w okręgach śródziemnomorskich od czasów

najdawniejszych znano i stosowano miedź i cynę oraz złoto i srebro, a później również ołów, rtęć i żelazo i ich różne stopy. Większość wymienionych metali albo ich rud wydobywano na półwyspie synajskim, na Cyprze, Rodosie, Eubei i na Tasos, w Tracji i w Hiszpanii; niektóre metale dowozili Fenicjanie nawet z odległych krajów, np. cynę z Wysp Brytyjskich albo z Indii. W okresach późniejszego rozwoju metalurgii te właśnie metale wymieniają liczni pisarze starożytni pod takimi symbolicznymi nazwami jak Sol (słońce), które ma oznaczać złoto, Luna (księżyc) na określenie srebra, a nazwami Wenus, Jupiter, Mars, Saturn i Merkury oznaczano kolejno miedź, cynę, żelazo, ołów i rtęć. Na podstawie wyników badań archeologicznych przyjmuje się obecnie, że np. Chińczycy znali cynę na wiele tysięcy lat przed naszą erą, że Egipcjanie eksploatowali kopalnie miedzi na półwyspie Synai już na 5 tysięcy lat przed n.e., że w Azji Mniejszej wytwarzano narzędzia i zbroje z brązu najpóźniej w trzecim tysiącleciu przed naszą erą, przy czym twierdzi się, że brąz jest najprawdopodobniej wynalazkiem ludności pochodzenia turańskiego, zamieszkałej w Mezopotamii. Istotnie najstarsze przedmioty z brązu wykopano dotychczas w okolicach Bagdadu. W każdym razie w okresie wojny trojańskiej zbroje z brązu były już w najszerszym użyciu. W przypadku żelaza według obecnych poglądów nawet w przybliżeniu nie można oznaczyć początkowej daty wytworzenia i zastosowania tego metalu. Rudy żelaza były znacznie dostępniejsze niż rudy innych metali, ale technologia przerobu rudy była dość złożona i żmudna. Jest też niewątpliwe, że wytwory z żelaza ulegały procesowi całkowitej korozji znacznie łatwiej niż wyroby z brązu. Przytacza się czasem [2], że w ruinach Niniwy, pochodzących z okresu ok. 6 tysięcy lat przed n.e. znaleziono ślady przedmiotów z żelaza; że w Egipcie odkryto resztki pieców, które miały służyć jakoby do wytapiania żelaza i pochodzić z przełomu czwartego i trzeciego tysiąclecia. Również w Babilonie znano żelazo bardzo wcześnie. Natomiast w Europie zachodniej poznano i opanowano sztukę wydobywania tego metalu rzeczywiście znacznie później, gdyż zaledwie na kilkaset lat przed n.e.

Od czasów najdawniejszych złoto odgrywało bardzo dużą rolę jako jeden z najcenniejszych mierników wartości i środków wymiany handlowej. Toteż już w księgach prawodawczych Egiptu, pochodzących z okresu panowania faraona Menesa (ok. 3600 lat przed n. e.) ustalony był urzędowy stosunek wartości srebra do złota jak 1,0 do 2,5. Około 1800 r. przed n.e. przyjęty na całym obszarze Mezopotamii babiloński system monetarny, oparty został na złocie. Za tym przykładem poszły i inne państwa pomiędzy Zatoką Perską i wschodnim wybrzeżem Morza Śród-

[2] Beck L., *Die Geschichte des Eisens*, Verl. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1913.

ziemnego. Część złota znajdującego się w dyspozycji świata starożytnego pochodziła z eksploatowanych przez Fenicjan kopalni w Tracji i płuczek złota na Tasos, część zaś dowożona była z Etiopii, a nawet z Indii. Również Grecy od dawna posługiwali się złotem i srebrem, a znali je już w okresie wojny trojańskiej. Później, w czasach Solona, Ateńczycy rozbudowali własne kopalnie ołowiu i srebra w Laurion. Po wojnach perskich kopalnie te doszły do znacznego rozkwitu, a historycy podają, że w tym czasie miały one zatrudniać do 20 tys. niewolników, przynosząc Atenom duże korzyści materialne. Pozostawione na miejscu z przerobu rud laurionskich odpadki hutnicze zostały w parę wieków później przetopione ponownie przez Rzymian w celu odzyskania reszty srebra przy zastosowaniu doskonalszego procesu technologicznego. Można dodać, że w czasach nowszych poprawiano z kolei technologię Rzymian. Technika posługiwania się metalami szlachetnymi czyniła w starożytności szybko znaczne postępy; znano więc nie tylko różne stopy złota i srebra oraz ich obróbkę mechaniczną, ale również posługiwano się np. metodą pozłacania w ogniu wyrobów ze srebra lub z miedzi.

Cynk — niezależnie od pobieżnej i ogólnikowej wzmianki w dziele pisarza i geografa Strabo z Amasji, z pierwszego wieku przed n.e. — został rozpoznany i zbadany w Europie bardzo późno, bo dopiero na początku okresu nowożytnego; był on jednak znany w Chinach i w Indiach przed n.e. Natomiast o jego stopach z miedzią, o mosiądzu wspomina zarówno Homer i Hesiod, jak i Platon i Arystoteles, a później Plinius i inni pisarze starożytni.

Ołów poczytywany był przez długi okres czasu za mało użyteczny produkt odpadkowy przy wydzielaniu srebra z błyszczu ołowiu. Stopniowo jednak sam metal i jego związki, jak minia, glejta, biel ołowiana i in. uzyskiwały coraz szersze zastosowanie. W Rzymie zaś i w Pompei przy budowie akweduktów zastosowano rury ołowiane do rozprowadzania wody, następnie posługiwano się ołowiem do wyrobu licznych przedmiotów, jak dyski i ciężary gimnastyczne, marki wstępu na igrzyska itp.

Nieco mniejsze znaczenie miała w starożytności rtęć metaliczna, stosowana do amalgamowania złota, np. do usuwania go ze zniszczonych, ciężkich tkanin przetykanych złotymi nićmi. Początkowo wytwarzano ją z naturalnego cynobru; później odkryto w Hiszpanii rtęć w stanie rodzimym. O metodach wydobywania rtęci z rud i o jej właściwościach pisali: Plinius, Vitruvius i Dioskorides.

Innych metali w epoce starożytnej nie wyodrębniono i nie zachowały się również świadectwa wskazujące na ich świadome zastosowanie czy choćby tylko rozpoznanie. Niemniej jednak istnieją konkretne dowody na to, że w rudach i stopach miało się do czynienia z innymi, na razie nieznanymi metalami. Zachowały się np. przedmioty ze stali wolframo-

wej lub monety baktryjskie wybijane przed n.e., zawierające obok 78% miedzi również ok. 21% niklu, itp.

Wreszcie nie można pominąć i tego faktu, że w epoce grecko-rzymskiej ustalono wiele pojęć, włączonych następnie — niejednokrotnie w innym znaczeniu — do słownictwa powszechnego. Oto więc w V w. przed n.e. Herodot określa górniczą eksploatację rud pojęciem *to metallon*; pokrewne słowo *metal* używane jest w języku hebrajskim na oznaczenie kucia lub pracy wykonywanej w kuźni. Grecka definicja *chalkos* odnosiła się zarówno do czystej miedzi, jak i do brązu. Rzymianie zaś nazywali słynną miedź cypryjską *aes cyprium*, co z upływem czasu miało przekształcić się na *cuprum*, łacińską nazwę miedzi. Cynę nazywali Grecy w okresie homeryckim *kassiteros*, co według wyjaśnień lingwistów miałoby wskazywać na sanskryckie względnie hinduskie pochodzenie tego słowa, wiążąc z tym również i obszary pochodzenia samego metalu. Ołów otrzymał w Grecji nazwę *molybdos;* cynk metaliczny zaś — według określenia geografa Strabo — nazwany został *pseudargyros*, czyli coś w rodzaju fałszywego srebra, gdy Plinius nazywa ten metal *cadmia*.

O ile ugruntowanie podstaw metalurgii miało pierwszorzędne znaczenie z punktu widzenia swoistej „rewolucji techniczno-gospodarczej" w świecie antycznym, to szereg innych odkryć i dokonań umożliwił w przyszłości korzystniejszy start licznym działom chemii stosowanej. Do najdawniejszych, praktycznie najcenniejszych, a jak zwykle w tej epoce bezimiennych i nie zlokalizowanych co do środowiska etnicznego osiągnięć, należy zaliczyć: sporządzanie zapraw i sztucznych materiałów budowlanych, następnie ceramikę uważaną zwykle za miernik stanu cywilizacyjnego i kulturalnego danego środowiska, a wreszcie produkcję szkła i utrwalanie metodą garbarską surowych skór.

Istotny stan rzeczy w zakresie jakości stosowanych w starożytności materiałów budowlanych nie jest trudny do rozszyfrowania. Mimo upływu bardzo wielu wieków zachowało się sporo konkretnych dowodów o niezaprzeczalnej wartości historycznej. Początkowo więc wszędzie tam, gdzie dysponowanie kamieniem budowlanym było ograniczone, zaczęto stosować uformowane z gliny ze słomą cegły, wysuszone przez nagrzewanie słoneczne, a czasem zarabiane żywicą lub rodzimym asfaltem (Babilon). Szybko oceniono, że taki materiał nie jest dostatecznie odporny na wpływy atmosferyczne i wystarczająco wytrzymały. Ogromnym postępem było więc wypalanie cegieł glinianych w ogniu. Wykopaliska turkmenistańskie świadczą, że w połowie czwartego tysiąclecia przed n.e. znane były nie tylko wypalane w piecach cegły, ale i naczynia ceramiczne o wysoce zaawansowanej już technice wytwórczej. Podobnie wypalanie kamienia wapiennego i przygotowywanie zapraw murarskich było znane i stosowane od dawna. Np. piramida Chefrena z okresu sięgającego

ok. 2800 lat przed n.e. zbudowana jest z potężnych bloków kamiennych, wiązanych zaprawą wapienną. W dwieście lat później posługiwano się w Egipcie również gipsem palonym. W Izraelu, w czasach Salomona, do zaprawy wapiennej dodawano mączkę ceglaną; wreszcie Rzymianie wprowadzili do praktyki budowlanej zaprawy typu hydraulicznego, mieszając wapno ze zmieloną lawą wulkaniczną, będącą produktem zbliżonym do cementów. Lawy takie znaleziono w okolicach Puteoli i in., stąd też pochodzą ich nazwy handlowe, jak *pulvis puteolanus* albo *pulvis baianus* itp.

Wypalane naczynia ceramiczne mają również za sobą historię bardzo dawną; znajduje się je nawet w wykopaliskach pochodzących z okresu neolitu. Np. w Egipcie wydobyto szczątki wypalonych naczyń, uformowanych ze szlamu nilowego, których wiek ocenia się w przybliżeniu na 13 tys. lat. Później, w czasach historycznych, zaczęto zabezpieczać takie naczynia stopionym w ogniu szkliwem (glazurą), a równocześnie ozdabiać je rysunkami i malowidłami oraz wprowadzać różne ornamenty. Sztuka ta rozpowszechniona w Asyrii i Babilonie, przejęta i udoskonalona przez Egipcjan, Kreteńczyków, Persów i inne narody Bliskiego Wschodu, doszła do najwyższego kunsztu artystycznego u Etrusków, Greków i Rzymian. Powłoki szkliste wytwarzano początkowo z krzemianu ołowiawego lub z tlenku cynkowego. Do sporządzania szkliwa błękitnego stosowano w Egipcie sole krzemowo-sodowe miedzi; nieco później uzupełniono tę technikę wprowadzeniem szkliwa manganowego o zabarwieniu czerwonym i fiołkowym. Persowie wprowadzili zwyczaj malowania naczyń ceramicznych; Etruskowie w czasach najdawniejszych, a później i Grecy nadawali tym naczyniom wytworne kształty; Grecy ponadto przyciągnęli do tego rzemiosła najwybitniejszych swoich artystów tej miary co Fidiasz, Polyktet, Myron i in. tworzących prawdziwe arcydzieła sztuki. Po upadku politycznym Grecji Rzym w okresie cesarstwa słynął z wyrobów ceramicznych, pochodzących nie tylko z samej stolicy, ale również i z wielu mniejszych ośrodków jak Pompea, Arretium i in.

Również i metody wytwarzania szkła były znane na wiele tysięcy lat przed n.e., przede wszystkim w Chinach i w Egipcie. Przyjmuje się, że na obszarach otaczających Morze Śródziemne odkrywcami i pionierami produkcji szkła byli Egipcjanie. Procesy metalurgiczne, przy których następuje wydzielanie szklistego żużla, rozwinięte w Egipcie dość wcześnie mogły łatwo naprowadzić na myśl wytwarzania takiego tworzywa jak szkło. Najstarsze szkło produkowane w Egipcie było czarne i słabo przezroczyste; takie okazy pochodzące z lat 3300 przed n.e. znajdują się obecnie w Oxfordzie. Szkło szmaragdowe i szkło błękitne jest znacznie młodsze; okazy takie przechowywane w różnych muzeach mają pochodzić z czasów panowania faraona Antefa IV, żyjącego ok. r. 2100 przed n.e. Z roku ok. 1800 przed n.e. pochodzi też płaskorzeźba egipska, umiesz-

czona w British Museum, a przedstawiająca według jednych znawców czynności związane z wydymaniem naczyń szklanych; inni natomiast twierdzą, że pomimo podobieństwa urządzeń i instrumentów, którymi operują pracownicy, rzeźba ma raczej przedstawiać proces metalurgiczny niż produkcję szkła. Szkło całkowicie przezroczyste, znalezione w okolicy Tell-el-Amorna, pochodzi z XV w. przed n.e. Z tego samego okresu pochodzą szkła barwione sztucznie solami kobaltu, miedzi itp. Szczególnie cenne wyroby szklane pochodziły z Tyru, Sydonu, a przede wszystkim z Aleksandrii. Dokładniejsze opisy sposobu pracy przy wytwarzaniu szkła pozostawili również Asyryjczycy na wypalanych tabliczkach glinianych z XVII w. przed n.e.; z późniejszych informacji wnioskuje się, że w VII w. przed n.e. znano w krajach Bliskiego Wschodu metodę rubinowego zabarwiania szkła złotem [3]. Rzym w okresie cesarstwa począł przejmować przodownictwo w zakresie produkcji i rozprowadzenia wyrobów szklanych. W III. w. n.e. szkło było już tam w powszechnym użyciu. Plinius, Dioskorides i pisarze późniejsi informują, że w Italii wytwarzano nie tylko liczne przedmioty ze szkła metodą wydmuchiwania, nie tylko znano najprzeróżniejsze sposoby barwienia szkła, ale również produkowano imitacje szlachetnych kamieni, jak szafiry, turkusy, ametysty, opale i in., a pod koniec tego okresu wytwarzano nawet szkło taflowe, używane do szklenia okien.

Wreszcie do grupy przemysłów starych, pochodzących jeszcze z okresu prehistorycznego, należy garbowanie i utrwalanie skór. Początkowo stosowano metody dość prymitywne i różne w różnych środowiskach. Czasem więc posługiwano się procesem pokrewnym wędzeniu mięsa i ryb; było to tzw. „odymianie" skór. W innych okręgach zmiękczano i utrwalano skóry wcierając w nie tran lub tłuszcze zwierzęce. W okolicach podbiegunowych metoda ta jest stosowana nawet po dzień dzisiejszy. Później garbowanie przeprowadzano różnymi substancjami chemicznymi, np. ałunem. W końcu zastosowano garbowanie roślinne, używając do tego celu kory, liści albo korzeni roślin bogatych w garbniki naturalne, chciaż o ich istnieniu nie miano oczywiście najmniejszego pojęcia.

Bilans aktywów typu chemicznego, zapisanych w epoce starożytnej, na tym się nie wyczerpuje. Z biegiem czasu intuicyjnie lub eksperymentalnie stwarzano coraz więcej faktów o znaczeniu technologicznym, odkrywano coraz to nowe produkty i nowe metody przetwórcze, zaspakajano istniejące i stwarzano nowe zapotrzebowania, a niejedna z ówczesnych zdobyczy okazała się tak trafna i właściwa, że wytrzymała nawet najcięższe próby czasu. Przede wszystkim więc wzrastała nieustannie liczba

[3] Thompson R. C., *On the Chemistry of the Ancient Assyrians*, Oxford Uniw. Press (Claredon Press), London 1925.

poznawanych surowców i materiałów pomocniczych. Sól kuchenna, konsumowana do celów spożywczych i konserwacyjnych stała się szybko artykułem szerokiego zużycia. Wytwarzano ją głównie przez eksploatację słonych źródeł lub przez odparowanie wody morskiej. Posiadano sodę naturalną zwaną *nitrum*, a uzyskiwaną z krystalicznych osadów tworzących się wciąż nad brzegami niektórych jezior w suchym i gorącym klimacie Egiptu. Była ona silnie zanieczyszczona, ale odpowiadała potrzebom hutnictwa szklanego a ogrzewana z olejem i wodą dawała produkt zbliżony właściwościami do wytwarzanego później mydła. Z ługów popiołu roślin morskich wydobywano zaś węglan potasowy (potaż). W pierwszym wieku n.e. odkryto i zastosowano na większą skalę subtelniejszą operację chemiczną: roztwór naturalnej sody zadawano wapnem palonym, przy czym część węglanu sodowego w podwójnej wymianie z wapnem przechodziła w wodorotlenek. Ciecz taką stosowano m. in. do odkwaszania wina. Do różnych celów w rzemiośle i gospodarstwie domowym stosowane były w Chinach, Indiach, Babilonie, Asyrii, w Egipcie, Izraelu, Persji i w innych krajach niektóre związki azotowe, jak salmiak (chlorek amonowy składnik kadzideł i odczynnik stosowany przy lutowaniu), węglan amonowy i sól skalna, tzw. *sal petrae* zwana także saletrą bengalską. Siarka rodzima, stosowana jako lek oraz jako materiał wyjściowy do wytwarzania dwutlenku siarki znana była w wielu krajach m. in. w Chinach, w Grecji i w Rzymie; dwutlenek zaś stosowano do bielenia materiałów włókienniczych, konserwowania wina itp. Do wyrobu farb służyły dwa siarczki arsenu: czerwony, nazwany przez Teofrasta *realgarem* i żółty, wymieniony przez Pliniusa jako *aurypigment*. Spośród innych farb mineralnych najszersze zastosowanie miały od dawna: biel ołowiana, minia, cynober, ochra, zieleń miedziowa i kamień lazurowy. W późniejszym czasie wprowadzono — głównie w Egipcie i w Rzymie — nową, wspaniałą farbę niebieską, tzw. smaltę, krzemian kobaltowo-potasowy.

Jeszcze poważniej była reprezentowana w świecie antycznym produkcja organiczna. Już wówczas poznano i oceniono właściwie wartość niektórych procesów i najważniejszych surowców organicznych. Tacy pisarze jak Homer albo Ksenofont (434—359) wspominają o nawożeniu gleby obornikiem i odpadkami roślinnymi. Teofrast podaje m. in. wiadomość o węglu kamiennym; Herodot informuje o występowaniu i stosowaniu ropy naftowej; temu samemu surowcowi nie mało uwagi poświęca Plinius. W VI stuleciu przed n.e. w okolicach Baku czczono „święte ognie" wydobywającego się z ziemi i palącego się gazu naturalnego, a w parę stuleci później na pograniczu Tybetu opalano gazem ziemnym urządzenia do odparowywania solanki. Od strony praktycznej poznano również znaczenie procesów fermentacyjnych. W ten sposób wytwarzano jedyny znany starożytności kwas organiczny, ocet, przez fermentację wi-

na. Podobnie i produkcja piwa miała w Egipcie bardzo dawne tradycje, a później rozpowszechniła się dość szeroko u Germanów, Scytów, Traków i wśród innych narodów. Warzono je wówczas jeszcze nie na chmielu, a dla ułatwienia procesu fermentacyjnego dodawano do brzeczki nieco miodu i soków drzewnych. Również technika zwęglania (wytlewania) drewna znana była od czasów najdawniejszych; uzyskiwaną przy tym smołę drzewną stosowano w Egipcie m. in. do balsamowania zwłok.

Wytapianie i wytłaczanie tłuszczów zwierzęcych i roślinnych było stosowane od zamierzchłych czasów. Różne tłuszcze i oleje służyły nie tylko do celów spożywczych ale również jako leki, a także do oświetlania, do zmiękczania skór w garbarstwie itp. Wytłaczanie oliwy znane było Homerowi, Hipokrates (460—377) zaś — znakomity lekarz grecki — opisuje m.in. sposób wytwarzania masła. Na ogół panuje przekonanie, że ani Egipcjanie, ani Grecy czy Rzymianie do początków n.e. nie znali właściwego mydła; według informacji Pliniusa w Galii oraz u ludów germańskich gotowano łój barani z wywarem popiołu drewna bukowego, uzyskując po schłodzeniu zestaloną emulsję. Dopiero więc za pośrednictwem Gallów „mydło" dotarło do Rzymu a metoda produkcji została udoskonalona i rozpowszechniona. Opisuje to lekarz rzymski Galenos w II w. n.e., podając, że mydło usuwające brud z ciała i z tkanin wytwarza się z tłuszczów i ługów popiołowych z dodatkiem wapna palonego.

Równolegle rozwijały się takie metody pracy i takie dziedziny produkcji, które wymagały wszechstronniejszych doświadczeń technologicznych, a często i zorganizowania pracy na wyższym poziomie. Do takich należy w pierwszym rzędzie barwienie tkanin, uprawiane od bardzo dawnych czasów i doprowadzone do dużej doskonałości w Chinach, w Japonii, w Indiach, w Egipcie i Fenicji, a wreszcie i w Rzymie. W okręgach śródziemnomorskich były w użyciu początkowo tkaniny wełniane i lniane; na Dalekim Wschodzie wielką rolę odgrywał od dawna jedwab. Barwne tkaniny jedwabne dotarły z Chin do Europy w drugim wieku przed n.e. Bawełna rozpowszechniła się stopniowo na całym Bliskim Wschodzie, a nieco później i na obszarach imperium rzymskiego. Metody barwienia tkanin były z reguły utrzymywane w najściślejszej tajemnicy; zapewniało to powodzenie handlowe tym okręgom, które wyspecjalizowały się w stosowaniu określonych barwników i wypróbowanych metod farbiarskich. W użyciu były różne barwniki pochodzenia roślinnego, jak indygo, lakmus, marzanna i drewno barwiące, oraz pochodzenia zwierzęcego, jak kermes, i in. Oprócz indyga szerokie zastosowanie miała tzw. laka krapowa, wytwarzana z korzeni marzanny. Surowe korzenie dowożone do Rzymu ze wschodu pod nazwą *lizari* albo *alizari* przetwarzano na barwnik nazywany tam *rubia* lub *varantia*. Z grupy barwników pochodzenia zwierzęcego czołową pozycję zajmowała purpura fenicka lub tyryjska, barw-

nik czerwony o odcieniu fiołkowym, uzyskiwany z wydzieliny ślimaczków morskich, a nazywany w Grecji według kraju pochodzenia *phoinix*. Wydzielina ta początkowo mleczno-biała ulegała w obecności powietrza i przy naświetlaniu słonecznym stopniowemu zabarwieniu aż do koloru purpurowego. Każda muszla dawała zaledwie kilka kropli tej substancji, którą należało jeszcze silnie zagęścić. W tych warunkach dokładne znormalizowanie odcienia produktu było bardzo trudne, i mimo to zmonopolizowany przez Fenicjan barwnik sprzedawano na wagę złota. Jak wielkie znaczenie gospodarcze miało wyłączne dysponowanie tym barwnikiem może świadczyć fakt, że pod koniec VI w. przed n.e. siły zbrojne fenicko-kartagińskie zamknęły wyjście z Morza Śródziemnego na ocean dla obcych statków, a to w związku z odkryciem na wyspach Kanaryjskich (głównie na Teneryfie) i na Maderze nowego i pięknego, w pewnej mierze konkurencyjnego barwnika czerwonego, otrzymywanego z rośliny *roccella tinctoria* lub z tzw. „drzewa smoczego". Wreszcie należy zanotować jeszcze jedno ważkie osiągnięcie starożytności. Według informacji historyków od Herodota do Pliniusa odkryto wówczas zaprawową metodę barwienia tkanin, uzyskując w ten sposób nie tylko wybarwienia znacznie odporniejsze na wpływy atmosferyczne, lecz również poprzez zmianę zaprawy i jej koncentracji zróżnicowanie kolorów i ich odcieni. Plinius wymienia *alumen*, czyli ałun jako główną zaprawę przy barwieniu tkanin; znano jednak i inne zaprawy, a włókiennictwo rozporządzało w tych czasach stosunkowo szeroką skalą barwnych tkanin purpurowych, czerwonych, brązowych, niebieskich, szarych i czarnych.

Drugim przemysłem o wielkim znaczeniu użytkowym było wytwarzanie różnych środków leczniczych. Zarówno wytwórczość, jak i zapotrzebowanie w tej dziedzinie musiało być rozwinięte dość wcześnie, skoro jako okaz znajduje się w muzeum berlińskim np. egipska apteczka domowa, pochodząca z okresu panowania jedenastej dynastii (ok. 2000 lat przed n.e.), zaopatrzona obficie w plastry, pigułki, przeróżne maści itd. Stwierdzono również, że w trzecim tysiącleciu przed n.e. znano w Babilonie środki łagodzenia bólu zębów, a podobne zabiegi były stosowane również w Indiach i w Egipcie; Dioskorides podaje zaś, że przed zabiegami chirurgicznymi usypiał pacjentów winnym wywarem z korzeni mandragory. Interesujące choćby ze względu na pewne analogie z czasami obecnymi jest to, że już w starożytności stosowano niektóre barwniki jako środki lecznicze lub dezynfekcyjne. Do takich należał np. błękit indygowy. Dość szczegółowe informacje o lekach pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, a także o sposobach ich wytwarzania zestawił wspomniany już lekarz rzymski Claudius Galenos z Pergamonu; leki takie nazwano później preparatami galenowymi.

Trzecim działem, który cieszył się w starożytności szczególnym powodzeniem była produkcja kosmetyków, środków zapachowych i wszelkiego rodzaju szminek. Pisma Hammurabiego (ok. 2100 lat przed n.e.) informują, że w Babilonie maści i olejki pachnące były w powszechnym użyciu. W wielu krajach Bliskiego Wschodu używano kadzideł w świątyniach, a substancji silnie aromatycznych do balsamowania zwłok. Siarczek antymonu nazywali Grecy *platioftalmon*, tj. rozszerzający oczy; wyprażony siarczek używany był przez Greczynki do czernienia brwi. W dość szerokim zakresie posługiwano się tam i innymi, kolorowymi szminkami i znano perfumy o kombinowanych zapachach. Ale najpowszechniej zapanowała moda na pachnidła w cezariańskim Rzymie. Wielu pisarzy stwierdza, że Rzym w tych czasach wydawał dużo pieniędzy na importowane ze wschodu olejki eteryczne i perfumy. Na wielkich przyjęciach u cesarzy rozpylano perfumy w dużych ilościach, a wśród mieszkańców stolicy rozwinął się cały kunszt posługiwania się olejkami wonnymi. Podstawowym surowcem do produkcji kosmetyków był już wówczas tłuszcz z wełny (lanolina), a z kwiatów ekstrahowano zapachy za pomocą oliwy.

Chcąc obiektywnie zreasumować dorobek tych wieków w zakresie omawianej tematyki trzeba przede wszystkim stwierdzić, że ginący w mrokach prehistorii bilans otwarcia był niezmiernie ubogi i chudy. Ani jasno zarysowanych celów, ani odpowiednich środków działania, ani ogólnej znajomości skutków wywoływanych przez określone przyczyny, ani jakichkolwiek prawzorów czy sprawdzianów rachunek ten nie zawierał i zawierać nie mógł. Jedyną siłą kierowniczą i twórczą był niepohamowany pęd człowieka do udoskonalenia życia, pomnożenia zasobów i środków działania, do pozbawionego wymiernego szczytu i kresu postępu. Bilans zaś, który po upływie wielu tysiącleci wypada zamknąć i podsumować rejestruje niezaprzeczalnie cenne i trwałe aktywa, które mają tym większy ciężar gatunkowy, im uboższy był bilans otwarcia. Jednakże nie jest łatwo dziś orzec czy te zadziwiające osiągnięcia, stwierdzalne zresztą tylko w perspektywicznym pomniejszeniu, były choćby częściowo wynikiem opanowanej już wiedzy i świadomego poszukiwania celowych rozwiązań, czy też wyłącznie dziełem żmudnego i długotrwałego doświadczenia. Założenia myślowe ówczesnych koncepcji twórczych były przeważnie otoczone mgłą tajemnicy i zaginęły łącznie ze swoimi zapomnianymi twórcami [4]. Trzeba jednak przypuszczać, że podstawą najdonioślejszych i najistotniejszych osiągnięć starożytności były uporczywe próby empiryczne, podobnie jak są one w niektórych przypadkach jeszcze obecnie jedynie skuteczną drogą do prawidłowych rozwiązań.

[4] Allcott A. and Bolton H. S., *Chemistry To-Day*, Oxford University Press, Oxford 1959.

Ostatecznie więc trzeba ograniczyć się do stwierdzenia tej historycznej prawdy, że osiągnięcia starożytności, niezależnie od sposobu ich realizacji, były naprawdę wielkie, przełomowe i wielostronne; przede wszystkim zaś spowodowały one zasadniczą zmianę w warunkach egzystencji całych społeczeństw. Może dopiero dziś, gdy spoglądamy na rezultaty końcowe wielowiekowego procesu ewolucyjnego, trwającego od zarania cywilizacji aż po naszą współczesność, jesteśmy w stanie ocenić właściwie i wszechstronnie istotne znaczenie niejednej z ówczesnych, pionierskich inicjatyw. Tak np. w starożytnych Chinach, na wiele tysięcy lat przed n.e. rozwinięto hutnictwo, metalurgię, włókiennictwo, z odpadków bawełnianych wytworzono pierwszy na świecie papier, a na początku trzeciego tysiąclecia wprowadzono do użytku wynaleziony — jak chce tradycja historyczna — przez Tien-Czszena tusz zarówno do celów pisarskich, jak i malarskich. Tusz taki, wytwarzany z najlepszych gatunków sadzy, przenoszono na tkaninę jedwabną albo na papier za pomocą pędzla. Również dopiero współczesne badania odkrywają cały, niedoceniany dotychczas wkład Indii do kultury światowej. Z Indii płynęły na zachód metale, włókna, cenne barwniki roślinne, olejki wonne i wiele innych chemikaliów. Ale z punktu widzenia omawianego tematu może najważniejszy jest fakt, że tam na południowym wschodzie Azji zainicjowano wytwórczość cukru. Ludność Indii Wschodnich przyzwyczaiła się od czasów zamierzchłych do żucia rozdrobnionych kawałków słodkiej trzciny. Ten proceder udoskonalono z upływem czasu; spożywano więc wytłoczony sok z tej trzciny. Wspominają o tym uczeni i pisarze, którzy towarzyszyli armiom Aleksandra Wielkiego w jego wyprawach na wschód. Na 200 lat przed n.e. uprawa trzciny cukrowej rozprzestrzeniła się na Chiny, Indonezję, Persję i na kraje arabskie. Wreszcie w III stuleciu n.e. w Indiach, Persji i w niektórych innych krajach nauczono się produkować cukier twardy przez zlewanie stężonego i gorącego syropu do odpowiednich form. Taki cukier eksportowano później w niemałych ilościach na zachód.

Ogromnie ważkie i różnorodne są osiągnięcia technologiczne starożytnego Egiptu. I w tym kraju rozwinięto samodzielnie i na dość znaczną skalę we wczesnych okresach wytapianie rud, rozpowszechniono liczne wyroby z miedzi, wprowadzono do użytku żelazo. Wykopanymi lub odnalezionymi, szczątkowymi dowodami i okazami wielkiej cywilizacji technicznej Egiptu zapełniły się w ciągu XIX w. wszystkie wielkie muzea zachodnio-europejskie. Dowody te świadczą, że w kraju faraonów znano od dawna przeróżne stopy metalowe, barwne fajanse, kolorowe szkła, malowane tkaniny, imitacje szlachetnych kamieni i pereł, leki, perfumy, środki do balsamowania ciał itd. Ówcześni fachowcy umieli rafinować złoto, posługiwać się barwnikami roślinnymi i zwierzęcymi, farbami mineralnymi, umieli warzyć piwo i kwasić słodkie wino. Przytacza się często,

iż w grobowcu Tutankhamona znaleziono barwione tkaniny, kunsztowne emalie i wspaniałe wyroby ze szkła. Liczne rzesze uczonych zapisywały atramentem zwoje papirusów. Do fabrykacji atramentu służyły zwykle sadze, czasem wydzielina sepii, a jak informuje Philo z Bizancjum w II w. przed n.e., przygotowywano go również w sposób chemiczny z soku galasówek, do którego dodawano roztworu soli miedzi i żelaza. Obok zaś atramentu czarnego były w użyciu atramenty — kolorowe, a nawet złote.

Ważnym produktem handlowym stał się też krochmal, nazywany przez Greków *amylon*, a wytwarzany z ziarn pszenicy. Według informacji Pliniusa i Dioskoridesa najlepsze gatunki krochmalu pochodziły z Egiptu lub z Krety.

W innych krajach Bliskiego Wschodu: w Asyrii, Babilonie, Fenicji i w Persji udoskonalono budownictwo, asfaltowano ulice niektórych miast, rozwinięto procesy metalurgiczne, produkowano najszlachetniejsze barwniki i farby, podniesiono hutnictwo szklane na wysoki poziom techniczny, stworzono przemysł olejków zapachowych i kosmetyków, uruchomiono wytwórnie kleju z odpadków zwierzęcych itd.

Wreszcie wszystkie zdobycze techniczne i cywilizacyjne wchłonęło uniwersalne imperium rzymskie. W świecie zasłynęły rzymskie farbiarnie jedwabiu, lnu, wełny i bawełny, wytwórnie wysokowartościowych skór miękkich zwanych *aluta*, warsztaty galanteryjne i jubilerskie, wytwórnie szkła i fajansów, a nawet instalacje wodociągowe i kanalizacyjne. Ponieważ Rzymianie odznaczali się dużym talentem organizacyjnym i zmysłem gospodarczym, przeto podtrzymywali i rozwijali wytwórczość przemysłową i górniczą, rolnictwo i handel morski w granicach całego imperium. Mnożyła się więc wytwórczość np. szkła, barwników, olejków zapachowych na wschodzie, żelaza oraz cyny na północy, a miedzi, ołowiu i srebra na zachodzie. Tak np. hiszpańskie kopalnie ołowiu i srebra, w szczególności zaś w Kartagenie i w Mazarron miały być — jak twierdzą historycy owego czasu — wzorowo przez Rzymian urządzone i sprawnie eksploatowane.

Ale może nie mniej ważne od tego zestawienia faktów i dokonań wydaje się być to, że już w starożytności wypracowano i udoskonalono szereg operacji technologicznych i ważkich drogowskazów naukowych, które w przyszłości miały stać się podstawą rozwoju zarówno fizyki i chemii teoretycznej, jak i chemii przemysłowej. Stosując więc takie czy inne metody o charakterze mechanicznym, fizycznym lub chemicznym nauczono się segregować i oczyszczać różne substancje. W procesach hutniczych rozdzielano coraz dokładniej metale od żużla przy równoczesnym poprawieniu wskaźników wydajności. Wymownym świadectwem tendencji racjonalizacyjnych jest np. wspomniane już powtórne przetwarzanie

przez Rzymian odpadków z hut srebra, prowadzonych dawniej przez Greków. Tales, Demokryt, Hippokrates podają w swoich pismach wskazówki odsalania wody morskiej; Arystoteles rozważał możność oczyszczania wody przez destylację. Największe i najbardziej cywilizowane miasta odprowadzały swoje ścieki do morza. Ale np. kilka miast egipskich i Jerozolima stosowała oczyszczanie ścieków w osadnikach, a pozostający szlam używano do nawożenia pól. Niektóre huty szkła usuwały z przeznaczonego do przerobu piasku różne zanieczyszczenia przez przemywanie; z tłuszczów i olejów usuwano resztki wody za pomocą dokładnie wysuszonej soli. Coraz częściej posługiwano się procesami sublimacji i krystalizacji. Arystoteles opisuje np. krystalizację soli kuchennej, a Plinius informuje o krystalizacji siarczanu miedzi. Zbadano dokładnie właściwości wielu surowców i licznych wytworów. Odkryto np. „włókno ziemiste", które nazwano *asbestos*, czyli nie spalające się; wytwarzano z niego m.in. knoty do lamp olejnych. Produkowano metodami w istocie rzeczy ściśle chemicznymi różne związki i sole, jak wodorotlenek sodowy, siny kamień, zielony siarczan żelazawy i kilkanaście innych preparatów. Metody przetwórcze były czasem bardziej złożone lub wielostopniowe; tak np. siarczan żelazawy przerabiano na cenną farbę mineralną, tzw. „czerwień pompejańską", a zwykły, silnie zanieczyszczony ałun po wielokrotnych przeróbkach i operacjach dostarczano odbiorcom do celów specjalnych jako „czysty ałun egipski". Umiano też posługiwać się zabiegami ekstrakcyjnymi, a jak informuje Teofrast w dziele o zapachach znano sposoby destylacji olejków eterycznych z kąpieli wodnych [5] w celu uniknięcia rozkładu olejków w wyższej temperaturze. Przynajmniej praktycznie wykorzystywano takie procesy, jak fermentacja, termiczny rozkład (smoła drzewna), oddziaływanie światła i in.

Również postęp dokonany w zakresie czysto naukowym nie może być lekceważony. Na kilkanaście tysięcy lat przed n.e. zastosowano praktycznie późniejsze prawo o zachowaniu energii: tarcie przetworzono w energię cieplną. Leukippos i Demokryt dali pierwsze sformułowanie teorii atomowej; była ona oczywiście niedoskonała i pozostawiała dużo miejsca dla dowolnych interpretacji i krytyki. Niemniej jednak po upływie 20 wieków trzeba było powrócić do jej założeń. Demokryt i Epikur byli bliscy odkrycia prawa o zachowaniu materii; głosili oni przecież zasadę, że nic nie może powstać z niczego i nic konkretnie istniejącego nie może rozpłynąć się w nicości. W tym czasie ustalone zostały pierwsze tezy materializmu naukowego. W trzecim stuleciu przed n.e. Archimedes, mając za zadanie oznaczenie zawartości złota w koronie króla Syrakuz, wykrył

[5] Walden P., *Chronologische Übersichtstabellen zur Geschichte der Chemie*, Springer-Verlag, Berlin 1952.

fundamentalną zasadę określania ciężaru właściwego różnych ciał chemicznych. Plinius wspomina zaś, że oddziałując na stal rudami żelaza pochodzącymi z okolic miasta Magnesia w Azji Mniejszej, wzbudza się szczególną właściwość stali — zaczyna ona przyciągać wyroby z żelaza.

Silne i szeroko założone fundamenty pod dalszy rozwój wiedzy chemicznej i technologii stosowanej zostały więc w starożytności zbudowane praktycznie z nicości, a sam ich dalekosiężny zakres musiał nie tylko wywoływać podziw i szacunek dla ogromu osiągnięć, ale również umacniać przeświadczenie, że narastające coraz intensywniej zasoby zostaną

Wielka pracownia chemiczna w Średniowieczu

pomnożone w najbliższym czasie. Niestety, postęp i cywilizacja nie rozwijają się nieprzerwanie po liniach prostych, wznoszących się z przyspieszeniem ku górze. Nadchodząca nieoczekiwanie katastrofa, związana z ostrym załamaniem się linii rozwojowej, jest z reguły tym większa, tym bardziej niszcząca i bardziej długotrwała, im większy wytworzył się potencjał różnic, który ma być w sposób gwałtowny wyrównany.

Potencjał różnic kulturalnych i cywilizacyjnych, wyobrażeniowych i rzeczowych, prawnych i organizacyjnych wytworzony pomiędzy rozległym imperium rzymskim a resztą świata starożytnego miał wymiary iście astronomiczne. W tej samej skali musiała zarysować się teraz recesja i w zakresie tych zagadnień, które są przedmiotem niniejszych rozważań.

Rozdział III

Chemia i alchemia Średniowiecza

Ostateczny upadek Rzymu pod koniec V w. n.e. — niezależnie nawet od wszystkich obciążeń i błędów cesarstwa — był z punktu widzenia cywilizacyjnego i gospodarczego wielką katastrofą dziejową. Nowy porządek rzeczy, który wytworzył się wówczas w południowej i w zachodniej Europie, jako konsekwencja kolejnych i długotrwałych wędrówek ludów, nagłych zbrojnych najazdów i niekończących się walk był zahamowaniem postępu i cofnięciem wstecz procesów ewolucyjnych na wiele stuleci. Po tej przełomowej dacie wszystkie wskaźniki rozwoju obniżyły się bardzo wyraźnie. Wielkie centra miejskie zaczęły się wyludniać, podupadła architektura i technika budowlana, środki komunikacyjne i transportowe ulegały widocznej dewastacji, malało zapotrzebowanie towarowe, zanikały instytucje finansowe, a obieg pieniężny skurczył się gwałtownie; wielka część urządzeń wytwórczych została zniszczona, zaniechane zostały dociekania naukowe, dawne zaś odkrycia i osiągnięcia pogrzebano w niepamięci. Najgorsze, gdyż najtrwalsze skutki powodował fakt, że wybitniejsi fachowcy, reprezentujący dorobek wiedzy i doświadczenia wielu generacji, metalowcy, włókiennicy, farbiarze, ceramicy, garbarze, hutnicy szkła, jubilerzy, a także medycy, architekci, pisarze, kupcy, marynarze i in. przenosili się masowo na wschód, na obszary o kulturze helleńskiej, nie dotknięte na ogół katastrofą powszechnej dewastacji. W rezultacie ostatecznym trzeba przyjąć, że przynajmniej część aktywów, które utracił wówczas zachód Europy, zyskiwał po upadku cesarstwa zachodniego helleński wschód, a przede wszystkim Bizancjum i Egipt.

Początkowo jednak, aż do połowy VII w., głównym ośrodkiem światowego rozkwitu techniki i nauki stał się nowy Egipt. Nowy dlatego, że tradycje staroegipskie ulegały już wcześniej wpływom zewnętrznym, docierającym do tego bogatego kraju z różnych stron. Najwcześniej i najsilniej przenikały tu — szczególnie od czasów wypraw Aleksandra Wielkiego i panowania dynastii Ptolomeuszów — wpływy kultury greckiej, krzewiącej się szeroko pod nazwą *hellenizmu* na całym Bliskim

Wschodzie. Ten wpływ wyrażał się nie tylko w rozprzestrzenianiu języka greckiego, literatury greckiej i greckich zwyczajów, ale również i w tym wszystkim, co tak dobitnie charakteryzowało społeczność grecką w fazie jej szczytowego rozwoju, a więc w pielęgnowaniu nauki, sztuki i budownictwa, w dociekliwości badawczej, a często w tendencjach spekulatywno-filozoficznych. Nieco później dotarły tu także wpływy rzymskie i przejawiające się zarówno w rozmachu twórczym, jak i w nastawieniu intelektualnym bardziej aktywnym i realistycznym i bardziej uniwersalnym niż to, które ożywiało Egipt archaiczny. Wreszcie nie można pominąć potęgującej się fali wpływów docierających do Egiptu drogami z pobliskiego wschodu, w szczególności z Mezopotamii i z krajów arabskich. Wnosiły one obok pierwiastków tradycyjnej kultury i wysokiej cywilizacji materialnej również elementy mistyki i dogmatyzmu, rozkrzewione w atmosferze metafizycznej tajemniczości. Na takim złożonym podglebiu rozrastał się teraz bujnie nowy Egipt, którego wszystkie nerwy zbiegały się w Aleksandrii, najznakomitszym, najlepiej technicznie wyposażonym i najwspanialszym mieście portowym basenu śródziemnomorskiego, w okresie następującym po upadku stolicy imperialnej, Rzymu. Tu właśnie w Aleksandrii, na przełomie IV i V stulecia głosił nowe poglądy filozof i pierwszy wielki alchemik egipski Zosimos, pochodzący z Panopolis, miasta w górnym Egipcie, zwanego w gwarze miejscowej Chemmis.

Narodziny alchemii, tej — jak sądzono wówczas — raczej sztuki niż nauki, początkowo nawet nie zdefiniowanej jasno i wyraźnie, nie nazwanej i nie opartej o żadną koncepcję myślową, przypadają prawdopodobnie na bardzo wczesny okres historyczny, a jej praźródeł można poszukiwać gdzieś na obszarach Mezopotamii, w krainie bajek z tysiąca i jednej nocy. Przez wiele wieków mogła ona egzystować tylko na marginesie życia. Zarówno filozofująca Grecja, jak i realistyczny Rzym tworzyły przestrzenną zaporę dla rozwoju alchemii w epoce starożytnej. Dopiero na początku naszej ery alchemia nazywana czasem sztuką tajemną, czasem sztuką świętą znalazła warunki rozkrzewiania się w Egipcie. Podłoże było bardzo sprzyjające. Od wieków zespoły kapłanów przy wielkich i bogatych świątyniach zajmowały się tradycyjnie badaniami naukowymi i wszelkimi zjawiskami przyrody. Ich osiągnięcia naukowe, np. w takich dziedzinach jak astronomia lub liczenie czasu, były zadziwiająco dokładne. Czasem zaś nagromadzona wiedza znajdowała zastosowanie praktyczne: przy świątyniach egipskich i pod kierunkiem kapłanów poczęły powstawać warsztaty zajmujące się np. wytapianiem i przetwarzaniem metali. Takie wytwórnie przy świątyni w Memfis słynęły przecież na cały świat z kunsztownych wyrobów metalowych. W tych właśnie zakładach metalurgicznych umiano już od dawna nie tylko stosować sztukę barwienia

metali, ale nauczono się również wytwarzać stopy tanich metali o wyglądzie srebra lub złota. Dążąc do zachowania korzyści materialnych w swoim ręku i do wzmocnienia autorytetu swojej kasty, utrzymywano metody wytwórcze w ścisłej tajemnicy, przekazując nagromadzone doświadczenia tylko wybranym i zaufanym adeptom stanu kapłańskiego. Stopniowo dookoła tych zespołów narastała świadomie i podświadomie wiara w ich wszechwiedzę i w ich wszechpotęgę oraz ta szczególna atmosfera mistyki, w której nic nie wymaga logicznego i ścisłego wyjaśnienia i nic nie przekracza granic możliwości. Tak w ciągu całych wieków zrastała się tu systematycznie w jedną całość rzeczywistość z mistyką, a technologia z fikcją. Zaważyło to decydująco w procesie krystalizowania się pojęć i założeń wyjściowych całej alchemii. Choć bowiem jej podstawowe zadania były przez różnych alchemików, w różnych czasach określane różnie, chociaż jedni kładli szczególny nacisk na znalezienie „eliksiru życia", mającego jakoby gwarantować długowieczność życia człowiekowi, drudzy zaś parali się poszukiwaniem nieokreślonego bliżej uniwersalnego leku (*panaceum*) o mocy zwalczania wszystkich chorób i niedomagań fizycznych, inni wreszcie uważali za ważne zadanie sporządzenie lub odkrycie jednego, powszechnego rozpuszczalnika, gdyż jak twierdzili „corpora non agunt nisi soluta" (ciała reagują ze sobą tylko w roztworze), to jednak wszyscy zgodnie poczytywali za naczelne zadanie alchemii odkrycie „kamienia mądrości", który umożliwiałby zmianę właściwości materii, a w szczególności metali. To właśnie zadanie przemiany jednych metali w inne przy pomocy kamienia mądrości stanowi wspólny mianownik łączący alchemików w ciągu wielu wieków powstawania i szerzenia się tej wiedzy. Tak więc Zosimos na początku V w. formułuje, że „święta sztuka" nazywana przez niego *chemeia* ma za główne zadanie uszlachetnianie metali oraz odkrycie metody ich przemiany; w dziesięć wieków później uczeni arabscy podtrzymują podobnie, że *al-kimija* jest przede wszystkim sztuką przetwarzania zwykłych metali w metale szlachetne. Równocześnie liczni alchemicy zarówno poważni badacze, jak i szalbiercy, naukowcy oraz spryciarze życiowi, poszukujący prawdy jak i osobistych korzyści wierzą w możliwość odkrycia jakiegoś mistycznego proszku — jak wyraża się Zosimos — albo „kamienia filozoficznego", jak głoszą inni alchemicy, który ma umożliwić przemianę ołowiu w drogocenne złoto. Ponadto większość z nich była najgłębiej przeświadczona, że ich znakomici poprzednicy istotnie rozwiązali to zadanie i posiadali ów tajemniczy i bezcenny kamień, ale tajemnicę wielkiego odkrycia zabrali ze sobą do grobu. Tylko tą wiarą można w pewnej mierze usprawiedliwić fakt, że tylu naukowców i badaczy przez wiele wieków i gene-

racji z całą energią i z niezłomnym uporem usiłowało przekształcić bezskutecznie oczywistą fikcję w rzeczywistość.

Nauki i wskazania głoszone przez Zosimosa zapuściły szybko mocne korzenie w Egipcie. Tu alchemia formułowała swoje cele, rozbudowywała swoje założenia, określała swoje metody pracy, a ubocznie rozwiązywała wiele zagadnień praktycznych i pożytecznych. Ale Egipt nie posiadał ani przebojowej siły politycznej, ani dostatecznej prężności twórczej, aby swoje poglądy, tendencje i osiągnięcia narzucić światu i uczynić je własnością powszechną. Tak więc dalszą ewolucję do rangi istotnie uniwersalnej wiedzy i ogólnoludzkiej problematyki zawdzięcza alchemia nie Egiptowi, lecz Arabom.

Właśnie w tym czasie, gdy na obszarach europejskich przynależnych dawniej do Rzymu zaczęły się nieco normalizować i stabilizować stosunki prawno-państwowe, narodowościowe i gospodarcze, gdy po dwuwiekowej przerwie drgnęły tam po raz pierwszy w górę wskaźniki rozwojowe, zjawiło się zupełnie nagle nowe i nieoczekiwane niebezpieczeństwo zniszczenia tych zasobów cywilizacyjnych, które przetrwały dotąd na wschodnim i południowym pobrzeżu Morza Śródziemnego. W połowie VII w. począł zapisywać się w historii świata rozdział o militarnej i zdobywczej ekspansji arabskiej. W ciągu niewielu stosunkowo lat zarówno Mezopotamia, jak i cała północna Afryka łącznie ze zhellenizowanym Egiptem, a ponadto część Hiszpanii opanowane zostały przez siły zbrojne Maurów. Charakter tych podbojów był jednak odmienny od tego co narody europejskie miały jeszcze w pamięci z niezbyt dawnej przeszłości. W zamęcie zbrojnym i w upojeniu zdobywczym, podsycanym fanatyzmem religijnym, nie tylko nie niszczono obcego dorobku kulturalnego i cywilizacyjnego, ale wręcz odwrotnie sami Arabowie, poczytywani początkowo za lud barbarzyński, zabłysnęli rychło jako wielcy koryfeusze sztuki, architektury, techniki, budownictwa, produkcji i handlu, a przede wszystkim jako utalentowani organizatorzy. Te cechy przejawiły się z całą wyrazistością również i w zakresie nauk. Posiadając zdolność błyskawicznego przyswajania sobie obcych zdobyczy naukowych i doświadczeń technicznych, Arabowie rozwinęli następnie własnym wysiłkiem takie działy, jak matematyka, astronomia, fizyka, medycyna i oczywiście alchemia, doprowadzając je szybko do zadziwiająco wysokiego poziomu. To właśnie oni uczynili z alchemii przedmiot zainteresowania ogólnoludzkiego. Oni też związali chemię i alchemię średniowiecza z zadaniami praktycznymi, technicznymi i przemysłowymi oraz stali się tym ogniwem pośredniczącym, które połączyło w jedną całość nowe tendencje i cele alchemii z wielkimi osiągnięciami rzeczowymi i teoretycznymi starożytności.

Trzeba jednak zaznaczyć, że ocena wkładu arabskiego do rozkrzewienia nauk chemicznych i alchemicznych była do ostatnich czasów dość

sporna i wielce problematyczna. Wynikało to z faktu dużej niepewności nie tylko co do szczegółów działalności naukowej i pisarskiej niektórych czołowych alchemików arabskich, ale nawet co do ich rzeczywistej egzystencji. Tak np. pierwszym naukowcem i pisarzem dużej miary w licznym gronie alchemików arabskich miał być „legendarny" jak twierdzą niektórzy historycy Dżābir ibn Hajjān znany później w alchemii europejskiej pod nazwą Giabera, Gebera czy Gibera, a działający pod koniec VIII i na początku IX w. Dzieła przypisywane temu autorowi zyskały wkrótce tak szeroki rozgłos w świecie i takie poważanie w kołach alchemików, że niebawem wielu pisarzy rozmaitego kalibru i pochodzenia zaczęło nie tylko uzupełniać, przerabiać i naginać jego wywody do własnych spekulacji alchemicznych, ale nawet własne, najczęściej mierne wypracowania pisarskie usiłowano firmować nazwiskami dawno nieżyjących autorów, w tym i Dżābira. To samo zjawisko powtórzyło się również w stosunku do wybitnych alchemików europejskich. Fakty te, powodujące później głęboką nieufność do informacji, a siejące wielki zamęt naukowy, zostały częściowo sprawdzone dopiero pod koniec XIX w., gdy na podstawie żmudnych badań zdołano wyeliminować większość falsyfikatów.

Ale nawet w obliczu tych wątpliwości i powikłań nie można negować, iż wkład nauki arabskiej — w ciągu pięciu wieków rozwoju kalifatów — w zakresie chemii stosowanej był poważny i twórczy. Liczne pisma arabskie, a w tym i te, które ostatecznie uznano za autentyczne prace Dżābira (przechowywane obecnie głównie w zbiorach w Leyden) ale i wiele innych, jak słynna *Tabula smaragdina* uważana za wielki kodeks alchemii, stały się cennymi dokumentami historycznymi. Obok rekapitulacji osiągnięć wcześniejszych podaje się w nich ważniejsze informacje o ogólnym rozwoju poglądów i prac alchemicznych w pierwszej połowie średniowiecza; dane te są uzupełniane opisami metod technologicznych, np. wydzielania metali z rud, wytwarzania kwasów, zasad i soli, preparowania leków, destylowania olejków eterycznych, a nawet przetwarzania siarczków arsenowych w biały i trujący arszenik itd.

Innym nie mniej ważnym aktywem jest to, że właśnie za pośrednictwem uczonych arabskich z wczesnego średniowiecza alchemia europejska mogła przyswoić sobie liczne dzieła naukowe i informacje o zdobyczach technologicznych starożytnej Babilonii, Asyrii, Egiptu, Fenicji, Grecji i Rzymu. Wiele też innych faktów ilustrować może pozytywną i twórczą rolę Arabów w dziedzinie chemii i nauk pokrewnych. Już w VIII w. poprzez Samarkandę dotarły dokładniejsze informacje o sposobie wytwarzania papieru w Chinach; Arabowie podjęli niezwłocznie tę produkcję, wyprzedzając w tym o kilka wieków zachodnią Europę. Nie mniej znamienny jest fakt uruchomienia w arabskim Bagdadzie pierwszej na świecie

apteki publicznej, w VIII w., a więc również o cztery wieki wcześniej niż w kilku wielkich miastach zachodnio-europejskich[1].

W Hiszpanii z inicjatywy Arabów uruchomiono różne wytwórnie typu chemicznego, w tym również i papieru; arabski Bagdad, a przede wszystkim arabska Kordowa, promieniowały jako centra naukowe na całą Europę zachodnią. Jeżeli słuszne jest twierdzenie, że uczeni arabscy wykorzystali skrzętnie dorobek naukowy starożytności, szczególnie Greków i Egipcjan, to równie prawdą jest, że budząca się do nowego zrywu twórczego Europa zachodnia korzystała obficie z pomocy i dorobku Arabów. Tak np. w X w. powstały słynne później szkoły lekarskie i farmaceu-

Średniowieczna wytwórnia kwasu azotowego

tyczne na terenie Italii, w Neapolu, Salerno, w Monte Cassino; kierowane one były z reguły przez wybitnych profesorów pochodzących z Aleksandrii arabskiej. Wyrazem uznania autorytetu arabskiego jest szerokie rozpowszechnienie w Europie pism Giabera i Avicenny oraz wartościowych prac nieznanego autora z XIV w. określonego jako „pseudo-Giaber". Te ostatnie ukazały się drukiem w 1481 r. Samo odwołanie się do nazwiska arabskiego miało więc zwiększyć ciężar gatunkowy pism autora europejskiego.

Należy uzupełnić również informacje o jednym z najsłynniejszych lekarzy , chemików i pisarzy arabskich Ibn Sina, żyjącym w latach 980—1037 i znanym w Europie pod nazwiskiem Avicenny. Z uczonym tym związane są nierozdzielnie dwa trwałe osiągnięcia. Dzieło Avicenny *Canon Medicinae* było tak znakomitym opracowaniem zagadnień lekar-

[1] Lockemann G., *Geschichte der Chemie*, t. I. Göschen-Sammlung, Berlin 1950.

skich i farmaceutycznych, stanowiących w tych czasach organiczną całość, że aż po XVII w. służyło jako fundamentalny podręcznik tej dyscypliny wiedzy w Europie; to jest osiągnięcie pierwsze. Po wtóre Avicenna okazał się pierwszym trzeźwym i zdecydowanym krytykiem tej alchemii, która graniczyła z magią i przy pomocy kamienia mądrości pragnęła przetwarzać ołów w złoto. Było to pierwsze, poważne i ściśle naukowe podejście do zagadnień chemii i nauk przyrodniczych, za którym zjawią się później i inne, w szczególności w Europie zachodniej, przejmującej ponownie — w końcowym okresie średniowiecza — przodownictwo m.in. w zakresie chemii i alchemii.

Tymczasem regeneracja Europy po rozgromieniu panowania rzymskiego dokonywała się tylko stopniowo i trwała długo. W referowanej dziedzinie trzeba było nie tylko odkrywać ponownie wiele zapomnianych metod pracy oraz przywracać znaczenie licznym, znanym już dawniej, produktom chemicznym, ale ponadto trzeba było wejść na okrężną drogę powrotu do dawnych osiągnięć, mianowicie poprzez Egipt, Bizancjum i naukowe centra arabskie.

Aż do IX w. struktura gospodarcza Europy była jednostronnie rolnicza i nad wyraz prymitywna. Historia tego okresu nie notuje w omawianej dziedzinie żadnego poważnego i samodzielnego osiągnięcia. W okresie feudalnego zacofania powstały tylko bardzo nieliczne ośrodki postępu technicznego i przetwórstwa przemysłowego. Z zachowanych zresztą dość skromnych dokumentów piśmiennych tego okresu można wnioskować, że najwcześniej obudzone zostały zainteresowania w zakresie hutnictwa i metalurgii. Ale już w XI stuleciu wytworzyła się w skrystalizowanej formie gospodarka miejska. Wprawdzie proporcja ludności wiejskiej do miejskiej była nadal jeszcze przytłaczająca na korzyść wsi, ale rozrastające się szybko miasta, szczególnie usytuowane nad brzegami morza lub w sąsiedztwie większych rzek, wywierają coraz silniejszy wpływ na całokształt struktury gospodarczej [2]. Stopniowo gospodarka miejska przybrała formy reglamentowanej i planistycznej, z przymusowymi syndykatami zarówno przedsiębiorców, jak i pracowników; w tych specyficznych warunkach zaczyna się wytwarzać pewna specjalizacja zadań, a poszczególne ogniwa gospodarcze przestają być w pełni jak dotąd samowystarczalne. Coraz wyraźniej ożywia się wymiana towarowa między wsią i miastem oraz między miastem i miastem. Jest to korzystna atmosfera również dla rozwoju przemysłu chemicznego. W XIII stuleciu gospodarka miejska znajduje się już w pełnym rozkwicie. Tak ludne i tak gospodarczo zaawansowane ośrodki, jak Wenecja, Genua, Florencja, Piza,

[2] Pirenne H., Renaudet A. i współpr., *La Fin du Moyen Age*, Libraire Félix Alcan, Paris 1931, str. 15.

Amalfi, Salerno, Brugia, Antwerpia, Amsterdam, Arras, Marsylia, Lyon, Barcelona i w.in., inicjują produkcję włókienniczą, metalurgiczną, chemiczną, rozwijają na dużą skalę budownictwo, handel importowy i eksportowy, organizują przetwórstwo systemem chałupniczym, tworzą instytucje bankowe i przez sam fakt swego istnienia wywierają silny wpływ w kierunku wykruszania systemu feudalnego. Odtąd potencjał gospodarczy Europy stale wzrasta, a z nim rozwija się szybko zapotrzebowanie na dowożone ze wschodu materiały i surowce, jak jedwab, bawełna, barwniki roślinne i zwierzęce, soda, ałun krystaliczny, żywice itd. Gdy zaś pośrednictwo handlowe Bizancjum coraz wyraźniej zawodzi, miasta europejskie, szczególnie włoskie, wbrew wszelkim uprzedzeniom religijnym, nawiązują bezpośrednie kontakty handlowe z ruchliwszymi i sprawniejszymi Arabami [3].

Również wyprawy krzyżowe mają swoje poważne następstwa gospodarcze. Przede wszystkim więc przyczyniają się one do rozwoju komunikacji morskiej, budzą nowe nieznane dotąd zapotrzebowanie na towary w Europie oraz udostępniają społeczeństwom zachodnim wiele osiągnięć i zdobyczy cywilizacyjnych greckiego wschodu i arabskiego południa. Na tych falach przeniknęły do Europy również niektóre teorie i praktyki alchemiczne ze wschodu.

Jednakże już od XI. w. wszystko, co objęte było pojęciem alchemia, poczęło rozkładać się i segregować — jakby pod wpływem jakiegoś procesu elektrolitycznego — na dwie grupy wartości, na dwa szeregi zjawisk, jeden — o znaku ujemnym i drugi — o znaku dodatnim. Po jednej stronie podziału ugrupowało się to, co w alchemii doktrynalnej i statycznej było wyrozumowaną fantazją, stosowaną sofistyką, a czasem wprost szalbierstwem i oszustwem pokrywanym mglistymi wywodami pseudonaukowymi. Po stronie drugiej sumowały się coraz realniejsze wartości pozytywne teoretyczne i praktyczne, techniczne i gospodarcze tej alchemii, która omijając wszelką mistykę dążyła do odkrycia prawdy naukowej. Trzeba wyraźnie stwierdzić, że pierwsza — w ciągu całych stuleci — z dużą szkodą dla nauki przesłaniała na kartach historii drugą, powodując lekceważący, a czasem wręcz negatywny stosunek do całej alchemii średniowiecza. Oczywiście nie było to ani właściwe, ani uzasadnione. Szalbierstwa niektórych alchemików, oferujących wytwarzanie złota z ołowiu były krytykowane, a nawet piętnowane przez alchemików tej miary, co Avicenna w XI w., Albertus Magnus i Raymondus Lullus w XIII w. albo Niccolo Causanus w XV w.

Należy też zwrócić uwagę, że atmosfera dla wyczynów kuglarskich była aż do końca średniowiecza nie tylko sprzyjająca, ale i sztucznie pod-

[3] Halphen L., *L' Essor de l'Europe*, Libraire Félix Alcan, Paris 1932.

sycana przez czynniki najbardziej wpływowe i oficjalne. Pomimo wydania przez papieża Jana XXII (XIV w.) bulli zabraniającej zajmowania się alchemią, rządy państw zachodnio-europejskich i liczni panujący byli w owym czasie pozytywnie ustosunkowani do rzekomych posiadaczy tajemnicy „kamienia filozoficznego". Tacy alchemicy demonstrowali często swoje szalbierskie sztuczki na dworach cesarskich i królewskich, byli obdarzani zaszczytami i pensjami. Niektórzy pisarze przytaczają fakty, które brzmią niewiarygodnie. Oto np. jeden z historyków niemieckich [4] twierdzi, że w 1423 r. rząd angielski miał się jakoby zwrócić do uczonych i duchownych swego kraju z apelem, aby u Opatrzności uprosili zezwolenie na rychłe odkrycie kamienia mądrości, gdyż narosłe długi publiczne obciążają zbytnio skarb koronny. Co prawda wersja pochodzenia angielskiego [5] zapewnia, że w XV w. rząd angielski, obawiając się skutków deprecjacji złota, zabronił alchemikom parania się przemianą zwykłych metali w złoto. Niezależnie jednak od tego, która z tych informacji jest prawdziwa, a nie można wykluczyć, że obie są prawdziwe, znaczenie alchemii szarlatańskiej zostało w ten sposób wzmocnione, zaś wiara w fikcję podtrzymana przez czynniki urzędowe. Podobnie jaskrawych faktów naiwności ludzkiej, pomimo nieprzerwanego łańcucha zawodów o przemianie ołowiu w złoto, można by przytoczyć znacznie więcej [6].

Tym licznym i historycznie ustalonym błędom czy obciążeniom można przeciwstawić niewątpliwy i poważny dorobek alchemii twórczej, krytycznej i rzeczowej, poszukującej — choćby nawet chwilowo na niewłaściwej drodze — rozwiązań naukowych i praktycznych osiągnięć technicznych. Początki i tej alchemii przypadają na okres od VII do IX stulecia.

Poważniejsze jednak prace naukowe, zajmujące się ogólniejszymi tematami przyrodniczymi i alchemicznymi pojawiają się obficiej dopiero w XII i XIII stuleciu. W Niemczech szczególnie wysoko ceniony był Albertus von Bollstädt, znany pod nazwiskiem Albertus Magnus (1207—1280), uważany tam za średniowiecznego Arystotelesa. Istotnie, zainteresowania filozoficzne i przyrodnicze tego prowincjała Dominikanów, a później biskupa Regensburga, były szerokie. Często przemierzał on kraj pieszo, gromadząc skrzętnie po drodze dane i obserwacje z zakresu mineralogii, zoologii, botaniki, a także i chemii. W swoich pismach wypowiada pogląd, że prawdziwie wielkim i twórczym alchemikiem jest sama przyroda. Na tle rozważania przemian chemicznych stwarza nowe

[4] Pietsch E., *Sinn u. Aufgaben der Geschichte der Chemie*, Verlag-Chemie, Berlin 1937.

[5] Allcott A., Bolton H. S., *Chemistry To-Day*, Oxford University Press, London — Oxford 1959.

[6] Ganzenmüller W., *op. cit.*, str. 227; Fierz David, *op. cit.*, str. 144.

pojęcie powinowactwa chemicznego. W książce *De rebus metallicis et mineralibus* omawia różne procesy chemiczne i fizyczne, w szczególności z zakresu metalurgii. Podobnie jak Avicenna przeciwstawia się zdecydowanie wszelkim szalbierstwom i sztuczkom alchemików. Do rzędu wybitnych jednostek tego okresu trzeba zaliczyć również Rogera Bacona (ok. 1214—1294) w Anglii, Vincenza de Beauvais (1190—1254) we Francji oraz Arnolda zwanego Villanovanus (1238—1313) działającego

Pracownia alchemiczna

w Hiszpanii i w różnych ośrodkach Italii. Jest rzeczą znamienną, że przyjmując nawet zasadnicze tezy alchemii, wymienieni naukowcy domagają się oparcia studiów przyrodniczych przede wszystkim na badaniach sprawdzalnych doświadczalnie. Odtąd też metoda ta poczyna zyskiwać „prawo obywatelstwa" w zakresie prac chemicznych i fizyko-chemicznych. W szczególności R. Bacon, nazywany popularnie *doctor mirabilis*, zajmujący się głównie fizyką, którą określił jako *scientia experimentalis* posiadał głęboki zmysł realizmu naukowego. W traktacie *Alchemia Maior* stwierdził on po raz pierwszy bardzo ważny dla dalszych badań, fakt, że płomień odcięty od dostępu powietrza gaśnie. Jemu też przypisują niektórzy historycy wynalazek soczewki powiększającej, prochu czarnego itp. Był wyznawcą wiary alchemików w przemianę metali, ale w swoich pracach badawczych z reguły nie opuszczał twardego gruntu ścisłości naukowej. Również i Raymundus Lullus (1235—1315) kładł nacisk na dokładne zbadanie zjawisk przyrody i z tego punktu widzenia

w dziele *Ars Magna* wypowiadał zastrzeżenia co do niektórych metod stosowanych przez alchemików.

Równolegle rozwija się coraz silniej piśmiennictwo monograficzne, zajmujące się zagadnieniami bardziej szczegółowymi lub praktycznymi. Tu można tylko przykładowo wskazać, że w XII w. opracowany został europejski podręcznik farmakopei pt. *Antidotarium*, że w XIV w. szczególnie dużo cennych informacji technologicznych podały wspomniane już pisma pseudo-Gebera, że w XV w. nieznany bliżej autor, ukryty pod nazwiskiem Basilius Valentinus, obok danych o metodach wytwarzania kwasów, zasad i soli, w pracy z 1460 r., zatytułowanej dość patetycznie *Wóz triumfalny antymonu* omawia sposób wytwarzania metalicznego antymonu i jego soli oraz metody oczyszczania złota albo też utwardzania ołowiu za pomocą nowego metalu.

Obraz tych czasów stanie się bardziej wyrazisty i pełny, gdy zestawi się choćby tylko najważniejsze dokonania i osiągnięcia praktyczne, a więc technologiczne i przemysłowe. W okresie następującym bezpośrednio po upadku cesarstwa zachodniego, historia notuje jednak stosunkowo niedużo faktów świadczących o rozwoju wytwórczości przemysłowej. Przyczyny tego zjawiska są różnorodne. Należy przede wszystkim mieć na uwadze, że zachód był nie tylko wielkim producentem w starożytności, ale również bardzo pojemnym rynkiem zbytu. Zapotrzebowanie to po upadku Rzymu przestało praktycznie istnieć, co nieuchronnie spowodowało przejawy ogólnej recesji gospodarczej. W niektórych środowiskach, np. w Egipcie, wszystko co miało związek z alchemią i produkcją chemiczną było otaczane tajemnicą. Toteż tylko nieduża część faktów przekazana była poprzez opracowania rękopiśmiennictwa do dyspozycji historii, ale i z tego niepełnego materiału spora liczba manuskryptów zgromadzonych w aleksandryjskiej, najpoważniejszej bibliotece ówczesnego świata została strawiona przez pożar. Z zachowanych, fragmentarycznych wiadomości można jednak wnioskować, że niektóre działy produkcji nawet w tym początkowym stadium przeżywały okres gospodarczego powodzenia i rozwoju w szczególności na obszarach kultury helleńskiej, a później i arabskiej oraz na odizolowanych i wielkich terenach Dalekiego Wschodu. Odnosi się to w pierwszym rzędzie do trzech podstawowych gałęzi przemysłu, tj. do metalurgii, włókiennictwa i garbarstwa. Świadczy o tym choćby rozwój eksploatacji rud oraz wzrost uprawy surowców włókienniczych w tym czasie.

Sytuacja ogólna ulega wyraźnej zmianie na lepsze od VII i VIII stulecia; wszystkie zachowane materiały świadczą o rosnącej wiedzy technicznej i prężności gospodarczej. Tak np. zapoczątkowana w starożytności konsumpcja cukru trzcinowego na środkowym wschodzie, rozszerzyła się stopniowo i na inne kraje. Spowodowało to również dość znaczny rozwój

wytwórczości. W VIII w. Egipcjanie zdołali nawet udoskonalić poważnie technologię, a Arabowie zorganizowali później lukratywny handel cukrem na nowych zasadach; taka właśnie organizacja stała się w przyszłości wzorem dla podobnych poczynań gospodarczych, podejmowanych przez państwa europejskie. Cukrownicy egipscy zastosowali więc oczyszczanie wywaru trzcinowego alkaliami oraz opracowali i zastosowali metody rafinacyjne. Jakość wytwarzanego cukru twardego została w ten sposób znacznie ulepszona. Arabowie zaś w XI stuleciu stworzyli w Egipcie formalny monopol państwowy handlu cukrem. Monopol ten zajmował się zbytem wewnętrznym, a także organizował eksport cukru do wielu krajów europejskich, zwalczając równocześnie najdrastyczniejszymi środkami wszelką konkurencję postronną. Niemniej jednak uprawa trzciny cukrowej i produkcja cukru rozwinęła się stopniowo nie tylko w całej północnej Afryce oraz w posiadłościach arabskich w Azji, ale dotarła również do północnej Europy. Od XII w. handel cukrem w Europie zaczyna usamodzielniać się. Kantory importowe powstają początkowo w takich ośrodkach przemysłowo-handlowych jak Wenecja, Genua czy Amalfi; później handel cukrem krzewi się także w Marsylii, Lyonie, Wiedniu, Augsburgu, Regensburgu, Norymberdze, docierając poprzez miasta flamandzkie i hanzeatyckie daleko na północ.

Przechodząc do omówienia kilku innych, czasem całkowicie nowych produktów chemicznych, można przytoczyć tu pewne przykłady: w wieku VII (dokładnie od r. 668) „inżynier" bizantyński Kallinikos wytwarzał nowy rodzaj broni chemicznej, tzw. „grecki ogień", który był używany z powodzeniem w walkach z obcymi okrętami a był mieszaniną łatwo palnych substancji organicznych; w wieku VIII zarówno w Bizancjum, jak i w Chinach posługiwano się sztucznymi ogniami, tworzonymi z saletry, węgla, siarki i żywic, a więc mieszaniny zbliżonej składem chemicznym do wynalezionego później czarnego prochu; w tym samym czasie produkcja wyrobów artystycznych pociąganych kolorowymi lub czarnymi lakami doszła do wielkiego rozkwitu w Japonii; w IX wieku w krajach arabskich posługiwano się różnymi związkami azotowymi np. salmiakiem, który nazwany został przez Al Gahiza *nuszadir*, czyli substancją przywracającą życie, gdyż opary amoniaku otrzymywane przy rozkładzie salmiaku zmieszanego z kredą stosowano do cucenia omdlałych.

Warto natomiast poświęcić nieco więcej uwagi zagadnieniu rozwoju produkcji szkła, gdyż charakteryzuje ono szczególnie wyraziście ewolucję ówczesnych tendencji ekonomicznych i technologicznych. Wspomniano już o tym, że w okresie całkowitego załamania się cesarstwa rzymskiego rzesze fachowców wyemigrowały z Italii na wschód. Najznakomitsi hutnicy szkła osiedlili się w tym czasie w cesarstwie wschodnim, tj. w Bizancjum, rozbudowując tam wielki przemysł szklany. Ten przemysł przez z górą

pięć wieków przodował w całym cywilizowanym świecie pod względem jakości i ilości. Hutnictwo i przetwórstwo artystyczne szklane rozwijało się nadal w Egipcie i w innych krajach, a o dużym zainteresowaniu szkłem w kołach naukowych może świadczyć fakt długotrwałego i ostatecznie nierozstrzygniętego wówczas definitywnie sporu co do chemicznego charakteru tego tworzywa. Gdy jedni uczeni arabscy za Dżabirem skłonni byli poczytywać szkło za rodzaj metalu, to inni alchemicy jak Al Razis zaliczali szkło do grupy kamieni. Ok. XI w. sytuacja gospodarcza Bizancjum zaczęła wyraźnie pogarszać się. W związku z powtarzającymi się najazdami i walkami, rujnującymi konsekwencjami wypraw krzyżowych oraz potęgującą się rywalizacją handlową i żeglugową zarówno Arabów, jak i miast włoskich cesarstwo wschodnie — najbogatszy dotąd kraj na świecie — poczęło gwałtownie podupadać. Aktywniejsze i bardziej kwalifikowane elementy ludzkie zaczęły emigrować w odwrotnym kierunku, na zachód. Skorzystał z tej sytuacji czujny zarząd miasta Wenecji, skłaniając najwytrawniejszych fachowców bizantyńskich zajmujących się produkcją szkła do osiedlenia się w Wenecji. Wenecjanie zdawali sobie bowiem najdokładniej sprawę z tego, jak znaczne korzyści materialne staną się udziałem miasta, gdy ono zajmie przodujące stanowisko w zakresie tej produkcji. Skoro zaś osiągnęli swój pierwszy cel, tj. zainstalowanie hutników szkła w Wenecji, kierownicy miasta nie żałowali ani trudów organizacyjnych, ani nakładów finansowych byle tylko sławę własnej produkcji utrwalić w całym ówczesnym świecie. Gdy to zrealizowali, opanowała ich umysły obawa przed wyśledzeniem i naśladowaniem znakomitych metod wytwórczych przez potencjalnych współzawodników. Takich było w samej Italii wielu. Toteż metody te uznano za państwową tajemnicę stanu, a w konsekwencji nie dopuszczono do sporządzania nawet zapisków o technologii i osiągnięciach weneckich w zakresie wytwórczości szkła. W imię tych samych tendencji cały ten przemysł o światowym znaczeniu skoncentrowano od 1289 r. na wyspie Murano, gdzie w XIV w. miało pracować ok. 8000 robotników [7].

Mimo tych przewidujących i wszechstronnych ubezpieczeń przemysł szklany powstał i rozwinął się w kilku miastach włoskich, konkurujących stale z Wenecją. Tak więc na przełomie XIII i XIV stulecia hutnictwo szkła we Florencji i w Pizie doszło już do niemałego znaczenia. Wielkie powodzenie tej wytwórczości podniecało do dalszych inwestycji. Na parę lat przed przeniesieniem przemysłu weneckiego do Murano mistrz z Florencji uruchomił nową hutę szkła w Genui. Do najwyższego rozwoju tej produkcji na terenie Italii dochodzi w XIV w. Powstały tam wówczas po-

[7] Ullmann F., *Enzyklopädie der Technischen Chemie*, Verl. Urban u. Schwarzenberg, Berlin-Wien 1919, t. VI, str. 212.

tężne cechy hutników szkła, a wyroby Murano uważane były za niedoścignione arcydzieła sztuki i techniki, huty florenckie zaś od 1316 r. wytwarzały słynne nawet poza granicami Italii *fiaschi* (flaszki). W Pizie rozwinęła się na wielką skalę produkcja luster, a w Wenecji, Florencji i Pizie fabrykowano różnokolorowe szkła bądź to do budowy witraży, bądź do powlekania mozaik lub wreszcie do imitowania takich kamieni szlachetnych, jak rubiny, szafiry, turkusy, topazy, granaty, jaspisy i in. Do wyrobu szkła barwnego zaś stosowano liczne odczynniki, np. sole miedzi, żelaza, manganu, kobaltu, srebra, a także cynober, aurypigment, itp. W publikacjach z okresów późniejszych informuje się też jakoby w niektórych hutach włoskich umiano już wówczas wytwarzać przedmioty szklane z zewnętrzną powłoką barwną [8]. Wreszcie trzeba zaznaczyć, że dość wcześnie, gdyż już w X w. powstają pierwsze huty szkła w Czechach i w Bawarii. Tak pod względem przemysłowym zaczyna się usamodzielniać głębokie zaplecze w centralnej i północnej Europie.

Z upływem czasu fale rozwojowe są coraz mocniejsze i coraz szersze. To samo zjawisko można stwierdzić w odniesieniu do chemii i przemysłu chemicznego. W pracy wspomnianego już „pseudo" Giabera *Liber de inventione veritatis* znajduje się m.in. opis wytwarzania kwasu azotowego, znanego zresztą już w XIII w. R. Lullusowi pod nazwą *aqua dissolutiva*, czyli woda albo ciecz roztwarzająca. Ten kwas uzyskiwano przy suchej destylacji mieszaniny saletry z dodatkiem ałunu i zwietrzałego witryolu, czyli siarczanu żelazawego, który przeszedł w związek zasadowy. Autor z XIV w. uzupełnia te dane uwagą, że wprowadzając do wymienionej mieszaniny pewną ilość salmiaku przy destylacji otrzymuje się ciecz o zdolności rozpuszczania nawet złota i siarki. Cieczą tą była oczywiście „woda królewska".

Znacznie wcześniej niż kwas azotowy szerokie praktyczne zastosowanie zyskał inny produkt chemiczny, mianowicie wynaleziony ok. 1250 r. czarny proch, będący mieszaniną saletry, węgla drzewnego i siarki. Ani nazwisko europejskiego wynalazcy, ani dokładna data tego odkrycia nie są ustalone. Najczęściej za odkrywcę uważa się mnicha fryburskiego Bertholda Schwarza. Czasem jednak wynalazek ten przypisuje się Chińczykom lub, podobnie jak odkrycie metod wytwarzania kwasów mineralnych, alkoholu i szeregu preparatów nieorganicznych, alchemikom arabskim. Ponadto niektórzy pisarze i historycy angielscy sugerują, że wynalazcą prochu strzelniczego był Roger Bacon. W każdym razie poczytuje się jako pewne, że armie angielskie posłużyły się prochem armatnim w 1327 r.[9], walczące zaś w Italii wojska niemieckie zastosowały proch

[8] Ganzenmüller W., *op. cit.* Verlag Chemie, Weinheim 1956, str. 79.

[9] Allcott A. and Bolton H. S., *op. cit.*

do miotania pocisków w 1331 r., a oblężone miasto w południowym Hanowerze obronił w 1365 r. Albrecht II przy pomocy artylerii. W drugiej połowie XIV w. w związku z rozwojem zapotrzebowania na proch podjęto w Niemczech produkcję saletry, którą nawet eksportowano w dość znacznych ilościach.

W tym czasie zyskał też większe znaczenie techniczne ałun potasowo-glinowy, stosowany od dawna jako zaprawa w farbiarstwie włókienniczym, a później również przy fabrykacji papieru. Już pod koniec XII w. powstała pierwsza wytwórnia ałunu w Europie na wyspie Ischia koło Neapolu; następnie na czoło producentów wybiło się państwo Kościelne z warzelnią w Tolfa koło Civita Vecchia. Niemniej jednak pewne ilości ałunu aż do początków XV w. dowożono do Europy ze wschodu.

Również w wielu innych działach technologii nieorganicznej i organicznej poczyniono w okresie od XIII do XV stulecia niemałe postępy. Tak np. poważniejsza zmiana technologiczna nastąpiła w tym czasie w tak ważnym dziale, jak hutnictwo żelaza. Bezpośrednim następstwem zastosowania dmuchaw napędzanych siłą wodną było zarówno powiększenie pieca hutniczego, jak i podniesienie temperatury w jego wnętrzu, a więc uzyskiwanie surówki żelaznej w stanie płynnym. Tę surówkę przetwarzano odtąd w odrębnym procesie w tzw. fryszerkach na żelazo kowalne. W rezultacie jakość żelaza poprawiła się i ułatwione zostało otrzymywanie stopów odpowiadających potrzebie. Pewne zastosowanie w metalurgii znalazł również antymon, uzyskiwany od połowy XV w. w nieco większych ilościach. Interesujące dane wiążą się też z samą nazwą antymonu. Niektórzy historycy utrzymują, że w pracowniach klasztornych wytwarzano przeróżne preparaty antymonowe, które stosowano bezkrytycznie jako leki. Spowodowało to oczywiście wiele ujemnych konsekwencji. W niektórych państwach zachodnio-europejskich wystąpiono przeciwko tym praktykom, a sporadycznie wydano nawet specjalne dekrety skierowane przeciwko tym mnichom, którzy takie preparaty wytwarzali. Dekrety te przezwano z grecka *antimonachon*, z czego ma wywodzić się jakoby nazwa *anty-mon*. Dla ścisłości trzeba jednak dodać, że są i inne wyjaśnienia, wywodzące tę nazwę z języka arabskiego.

Obok preparatów antymonowych stopniowo rozwinięto wytwórczość i wielu innych związków rtęci, srebra, ołowiu, cynku itd., przy czym niektóre z nich zyskały istotnie duże znaczenie w praktyce leczniczej. Przykładem może być tlenek cynku stosowany już wówczas jako lek w chorobach oczu.

W zakresie technologii organicznej nowości i osiągnięcia nie były może tak liczne i różnorodne, miały natomiast szczególnie podstawowe znaczenie. Kilka przykładów posłuży do zilustrowania tego twierdzenia.

Tak więc aż do XI w. w krajach śródziemnomorskich nie znano metod zezwalających na uzyskanie bardziej skoncentrowanego alkoholu (nazwa alkohol powstała dopiero w XVI wieku). Rękopisy z tego okresu podają, że najlżejszą ze znanych cieczy jest oliwa. Nie znano więc dokładniej właściwości czystego alkoholu. Ale w następnym XII stuleciu wiedziano już, że z mocnego wina przy dodatku soli można oddestylować *spiritus vini*. W XIII w. tacy pisarze, jak Marcus Graecus albo Albertus Magnus, opisują dokładniej własności spirytusu, nazywając go *aqua ardens* (woda ognista) albo *aqua vitae* (woda życia). Nazwa ta pochodziła prawdopodobnie stąd, że w Italii już w XIII w., a w Europie zachodniej i północnej w XIV w. alkohol był szeroko stosowany jako skuteczne lekarstwo w przypadkach powtarzającej się epidemii tzw. „czarnej zarazy". W XV w. produkcja wódki rozpowszechniła się dość znacznie w Europie, chociaż oczywiście wyobrażenia o procesach fermentacyjnych i zachodzących przemianach chemicznych były wciąż jeszcze niedostateczne.

Za przykładem Flandrii i Brabancji również i w Niemczech poczęto stosować chmiel do wyrobu piwa. Prawdopodobnie po raz pierwszy wprowadzono tę nowość w XIII w. w bawarskim klasztornym browarze istniejącym we Freisingu. Pod koniec średniowiecza słynęły już w południowej Europie piwa bawarskie, na północy zaś eksportowe piwa wytwarzano w Hamburgu i w Gdańsku.

Wczesny i znaczny rozwój wykazuje wytwórczość mydła w Europie. W Marsylii już w IX w. pracowały poważniejsze fabryki mydlarskie. Przemysł ten w okresie wypraw krzyżowych przy ułatwionej wymianie informacji i doświadczeń między różnymi krajami rozprzestrzenił się w Europie dość znacznie. Pod koniec tego okresu wielkimi producentami mydła stały się takie ośrodki miejskie, jak Wenecja, Savona i in. Podobnie pod wpływem kontaktów z Bliskim Wschodem odżył w Europie dawny zwyczaj używania olejków wonnych. Od dawna z wyrobu perfum słynęli Hindusi, Arabowie oraz kraje należące do Bizancjum. W tej dziedzinie duże postępy techniczne poczynili Arabowie. Zastosowali oni wydzielanie olejków eterycznych i zapachów kwiatowych przy pomocy destylacji z parą wodną, a fizyk bagdadzki Al-Kindi, zajmujący się w IX w. chemią perfum, opisuje destylację takich olejków, które ogrzewa się ostrożnie w naczyniach zanurzonych w kąpieli wodnej. W późniejszym okresie posługiwano się z powodzeniem również metodą ekstrakcji alkoholowej do wydzielania olejków zapachowych.

Wreszcie należałoby jeszcze podkreślić fakt, że współdziałanie chemii umożliwiło osiągnięcie trwałego postępu i znacznego rozwoju w wielu innych dziedzinach produkcji przemysłowej. Tak więc pod koniec średniowiecza pergaminy i papirusy zostały prawie powszechnie zastąpione w Europie przez produkowany w coraz większych ilościach papier celu-

lozowy, co wywarło wysoce dodatni wpływ na udostępnienie słowa pisanego i drukowanego; technika barwienia tkanin, wzbogacona o nową grupę barwników orselinowych, została w dużym stopniu udoskonalona; produkcja octu rozwinęła się szerzej, a np. we Francji dość liczny stał się cech warzelników octu; sztuka wyrobu emalii barwnych i kolorowych glazur, szczególnie w takich ośrodkach, jak Lyon, Rouen, Norymberga, Delft i in., doprowadzona została do najwyższej doskonałości; mnożyły się wytwórnie produkujące farby mineralne, atramenty pisarskie, preparaty lecznicze itd. Wytrawny i skrzętny obserwator Marco Polo informuje o posiadaniu przez Tatarów ubiorów błyszczących jak jedwab, lecz odpornych na działanie ognia, gdyż wytworzonych z włókien azbestu; ten sam pisarz stwierdza, że w XIII w. używano w Chinach węgla do celów opałowych; ale i w Europie znane jest już od dłuższego czasu stosowanie węgla kamiennego jako paliwa i to w Anglii, co najmniej od IX w., w zagłębiu belgijskim od XI i XII stulecia, w Szkocji i Walii od XIII, a w okręgu Ruhry od XIV w.

Jest jednak jeszcze jeden ważny dział, w którym osiągnięcia praktyczne alchemii średniowiecznej są niezaprzeczalne i nieprzemijające. Ten dział można by nawet uznać za nieśmiały początek dzisiejszej inżynierii chemicznej. Oto w wielu małych i zwykle prymitywnych warsztatach i laboratoriach, głosząc błędne i fikcyjne zasady, poszukując wbrew niekończącym się zawodom za kamieniem filozoficznym, alchemicy wypracowali w ciągu wielu generacji metody i prawidła rozpuszczania ciał stałych, zagęszczania roztworów, filtrowania i dekantowania cieczy, odparowywania, destylowania, skraplania, stapiania, krystalizowania, sublimowania itd. Oni skonstruowali, wypróbowali i często udoskonalali wielką liczbę urządzeń i aparatów stosowanych bez większych zmian w pracowniach chemicznych aż po dzień dzisiejszy; zbudowali różne naczynia kamionkowe i szklane do celów chemicznych, wprowadzili do użytku piece retortowe, kolby destylacyjne, chłodnice i odbieralniki. Pod koniec tego okresu laboratoria chemiczne i alchemiczne, dysponując wielką liczbą sprawnych urządzeń i instalacji, nie tylko pulsowały życiem, ale były przygotowane do podjęcia zadań twórczych.

Tak więc bilansując okres średniowiecznej alchemii trzeba oceniać obiektywnie obie strony rachunku: pasywa i aktywa.

Nie dysponując prawie żadnymi środkami naukowo-poznawczymi alchemia w swojej zasadniczej tendencji kierowała się głównie w stronę zagadnień praktycznych, o charakterze technologicznym. Toteż nie wytworzyła ona własnego, wszechstronnie przepracowanego systemu naukowego, zwartych i ogólnych hipotez naukowych ani choćby tylko fragmentarycznych, nowych teorii rozświetlających drogi przyszłych rozważań i badań. Średniowieczna alchemia nie odkryła i nie zdefiniowała ani jed-

nego, nieznanego dawniej pierwiastka chemicznego. Krzewiła natomiast obficie najbłędniejsze, na niczym nie oparte przekonania i zasady, jak np., że każdy metal jest ciałem złożonym z rtęci i różnych innych substancji, a więc że poprzez zmianę stosunku tych składników można osiągnąć radykalną zmianę właściwości danego metalu. Podobnie błędne wyobrażenia krzewiła alchemia co do gazów. Jej portfel teoretyczny był więc bardzo ubogi w ustalenia, które wytrzymałyby próbę czasu. Założenia zaś były często zupełnie dowolne i nie oparte na podłożu ścisłych badań i doświadczeń. Co gorzej, alchemia wytworzyła pewien specyficzny system myślenia i argumentowania, oscylujący nieustannie pomiędzy fantazją i rzeczywistością, dalekosiężnymi celami i ambitnymi zapowiedziami, a bardzo nikłymi środkami ich realizacji. Ten balast będzie ciążył poważnie na sposobie ujmowania zjawisk naukowych nawet wówczas, gdy alchemia pochyli się już zdecydowanie ku upadkowi. Swoich podstawowych zadań, tak jak je sama określiła, rozwiązać nie mogła i nie rozwiązała. Nie odnalazła ani uniwersalnego rozpuszczalnika, ani wszech-leku, ani kamienia mądrości, a uporczywe zabiegi zmierzające do przemiany innych metali w złoto i srebro kończyły się zawsze fiaskiem, sporadycznie zaś nawet tragedią dla kandydatów na mistrzów. Te tendencje przekształcania alchemii w tajemną sztukę bliską kuglarstwu nie zostały pogrzebane definitywnie ani pod wpływem krytyki głoszonej przez poważnych badaczy przyrody, ani pod ciosami potępienia przez tak czołowe jednostki ówczesnego świata jak Dante lub Petrarka.

Nie można jednak skreślić z aktywów średniowiecznej alchemii faktu nadania problematyce chemicznej znaczenia ogólnoludzkiego, skierowania uwagi na zagadnienia inżynierskie i technologiczne, istotnego rozbudowania wielu działów przemysłu chemicznego (jak np. metalurgia, papiernictwo, cukrownictwo, szkło, mydło, ocet, proch czarny, ałun) ani tego, że na całym świecie znalazły się małe i większe laboratoria chemiczne, wyposażone w nowe urządzenia i przyrządy. Jest też niesporne, że egipscy, bizantyńscy, arabscy i europejscy pisarze okresu alchemicznego uratowali przed zagładą wiele dzieł i opracowań przyrodniczych starożytności; pieczołowicie przekazali w licznych opracowaniach obraz dorobku chemicznego, technologicznego i gospodarczego swoich własnych czasów. Wreszcie dwie naczelne idee alchemików, uważane powszechnie przez wiele następnych stuleci za utopię pozbawioną wszelkich rzeczowych uzasadnień, okazały się w świetle najnowszych badań naukowych, jeżeli nie prawdziwe, to przynajmniej bardzo zbliżone do prawdy. Alchemicy więc, aby uzasadnić swoje praktyki, twierdzili: po pierwsze, że istnieje jedna, prasubstancja wyjściowa, która jest początkiem i szkieletem wszelkiej materii i po drugie, że istnieje możliwość przemiany jednych sub-

stancji lub może pierwiastków w inne. Oba te twierdzenia, naturalnie w innym ujęciu i innej interpretacji, są bliskie dzisiejszej nauce.

Tak oto sama alchemia powoli, fragmentarycznie, świadomie albo podświadomie torowała skutecznie drogę do innego światopoglądu przyrodniczego, innych metod badawczych i praw naturalnych, do innej chemii, zbudowanej na fundamentach ściśle naukowych. W tym wielkim i długotrwałym procesie ewolucyjnym współdziałały jednak i różne postronne, w pewnym sensie możniejsze siły. Tak więc stopniowo mnożyły się fakty, w których na razie niedostrzegalnie jeszcze kryły się zarodki nowych tendencji i sił kształtujących przyszłość. Już w X w. zaczęły powstawać znakomite szkoły lekarskie w Italii, adoptujące chemię jako naukę pomocniczą, które z upływem lat wytworzyły poważną kadrę ludzi światłych i opanowujących metodologię badań naukowych. W XII i w następnych dwóch stuleciach powstały w Europie uczelnie o charakterze uniwersyteckim, przepojone głębokim kultem dla wiedzy, rozważań filozoficznych oraz badań i doświadczeń naukowych, w których rozkrzewi się bujnie duch odrodzenia i zmysł wnikliwego krytycyzmu. W 1119 r. powstał słynny później uniwersytet w Bolonii, w 1200 r. uniwersytet w Paryżu, w 1214 r. uniwersytet w Oxfordzie, a następnie w 1348 w Pradze, w 1364 w Krakowie itd. Wynalezienie i szybkie rozpowszechnienie druku stało się potężną dźwignią rozwoju nauki i wiedzy. Na przełomie XV i XVI. w. poczęła narastać obficie literatura naukowa, a w tym i technologiczna. Nowe teorie, osądy i nowe wnioski przenikają całą naukę od astronomii do alchemii i farmakologii. Ustalone od dawna poglądy i pojęcia ulegają teraz krytyce i dyskusji, a wszystkie fakty wydają się mieć inne znaczenie. Ileż to rewolucyjnych nowości zawierają w sobie najprostsze i wnikliwe twierdzenia głoszona np. przez Leonarda da Vinci[10], że „żadne badania czy poszukiwania nie mogą być zaliczone do rzędu prawdziwie naukowych, jeżeli nie dadzą wyrazić się w sposób ścisły, przede wszystkim przy pomocy matematyki" albo inne, sugerujące, że „powietrze jest mieszaniną dwóch odmiennych składników, z których jeden zużywa się w takich procesach, jak oddychanie czy palenie się". Każdy fragment życia roi się teraz od takich nowości; wszystko zdaje się wskazywać, iż zbliża się czas, w którym dawne założenia, apodyktycznie ustalone twierdzenia, teorie, prawidła, hipotezy, pewniki i założenia naukowe będzie się poddawać ponownemu sprawdzaniu i przewartościowaniu. Zacznie się więc nowy rozdział również w historii chemii czystej i stosowanej.

---

[10] Hauser H., Renaudet A., *Histoire Générale: Les Débuts de l'Âge Moderne*, F. Alcan, Paris, 1929, str. 102.

Rozdział IV

Zmaganie się poglądów na zadania i podstawowe założenia chemii. Wiek XVI i XVII

Od połowy XV w. nagromadziło się w świecie tyle nowych faktów politycznych, społecznych, gospodarczych, finansowych, geograficznych, a nawet pojęciowych, że rozgraniczenie tych dwóch wielkich epok, tj. czasów średniowiecza od czasów nowożytnych, wydaje się być wyraźnie i ostro zarysowane.

Już zajęcie Konstantynopola w połowie XV stulecia przez Turków oraz odkrycie potężnego kontynentu na zachodzie pod koniec tego wieku miało daleko idące następstwa. Lukratywny handel ze wschodem takimi towarami, jak jedwab, bawełna, cukier, korzenie, barwniki, niektóre rudy, ałun, soda, żywice i wiele innych, jeżeli nie został sparaliżowany całkowicie, to w każdym razie był odtąd bardzo utrudniony. Od czasu zamorskich wypraw Kolumba i jego następców oś zainteresowań politycznych i gospodarczych świata zaczyna przesuwać się systematycznie i zdecydowanie z Bliskiego Wschodu, z nad Morza Śródziemnego, Północnego i Bałtyckiego w kierunku wybrzeży Atlantyku. Oceanem do Europy zachodniej dopływają coraz znaczniejsze ilości nowych surowców, produktów spożywczych, a przede wszystkim złota i srebra. Równocześnie jednak zachodzą głębokie wewnętrzne procesy przemian strukturalnych o charakterze społecznym i gospodarczym. Zaczyna rozrastać się i umacniać ustrój kapitalistyczny, rozsadzający od środka gospodarkę miejską i średniowieczny system reglamentacyjno-cechowy. Stopniowo nowy ten ustrój opanowuje jeden przemysł za drugim, od sukiennictwa i metalurgii aż po drukarnie książek, a także wielki handel, transport morski, domy bankierskie itd. Przełom wieku XVI i XVII jest już świadkiem znacznego i wielostronnego rozwoju systemu kapitalistycznego ze wszystkimi następstwami społeczno-gospodarczymi i dlatego określany jest nieraz w historii jako okres pierwszej rewolucji ekonomicznej w czasach nowożytnych [1]. Waga zagadnień gospodarczych przerasta jednak coraz widocz-

[1] Hauser H., Renaudet A., *op. cit.*, str. 305.

niej możliwości miast. Wielkie wyprawy morskie wymagają współdziałania państwa. Handel międzynarodowy regulowany jest przez traktaty międzypaństwowe. Wyłania się zagadnienie budowy i utrzymania dróg bitych, które może być rozwiązane w całości tylko przez władze państwowe. Tak np. rząd francuski w okresie Ludwika XI (wiek XV) ingeruje w życie gospodarcze dość wszechstronnie, usiłując tworzyć w kraju nowe przemysły, nowe możliwości ekspansji handlowej itp.; są to więc pierwsze przejawy kiełkującej doktryny merkantylistycznej. Co więcej państwo poczyna już brać czynny udział w życiu gospodarczym, tworząc pierwsze monopole soli, ałunu, uczestnicząc w kompaniach handlowych itd. Słabnącej potędze miast średniowiecznych przeciwstawia się coraz wyraźniej rosnąca siła państw narodowych, a dawną rolę gospodarczą samodzielnych miast włoskich, flamandzkich, szampańskich czy hanzeatyckich przejmują narodowe gospodarstwa Hiszpanii, Portugalii, Holandii, Francji i Anglii[2].

Ta fala twórczych i nowatorskich sił nie ominęła oczywiście zagadnień naukowych, a w szczególności zagadnień przyrodniczych. Wiek XVI i XVII zbudował przecież fundamenty pod rozwój nowoczesnych i ścisłych badań, kontrolowanych metodami naukowymi, zapisując w historii nazwiska tak znakomitych i twórczych jednostek, jak Mikołaj Kopernik (1473—1543), Giordano Bruno (1548—1600), F. Baco z Verulamu (1561—1626), G. Galileusz (1564—1642), J. Kepler (1571—1630), R. Descartes Karteziusz (1596—1650), E. Mariotte (1620—1684), I. Newton (1643—1727) i in. Nie mało ważnym faktem jest również to, że naukowcy i badacze ówcześni zostali wyposażeni w nowe metody analizy zjawisk, w nowoodkryte urządzenia kontrolne, jak wahadło, luneta, termoskop, barometr, manometr, mikroskop, które rozszerzyły poważnie skalę podejmowanych doświadczeń oraz umożliwiły ich porównywalność.

Wszystkie te fakty wywierały stopniowo silny wpływ również na ewolucję chemii czystej i stosowanej w XVI i XVII w. Mistyka średniowiecza zderzyła się z racjonalizmem nowych czasów. Szeregi reformatorów i krytyków, atakujących pojęcia i założenia alchemii, roztrastały się teraz dość szybko. Wyrazem niechęci do pielęgnowania tradycji dawnej „sztuki tajemnej" jest widoczny wysiłek zmierzający do wyznaczenia innych założeń, celów, zadań i metod pracy, a nawet innej nazwy na oznaczenie tych zagadnień, którymi zajmowała się dotychczas alchemia.

Jednym z czołowych protagonistów tej tendencji jest Teofrastus Bombastus von Hohenheim, znany jako Paracelsus (1493—1541), światowy włóczęga, niespokojny i egocentryczny duch, mistrz wywoływania sporów, teoretyk i praktyk, badacz i wykładowca, chemik i lekarz-cudo-

[2] Pirenne H., Renaudet A., *Histoire Générale, La Fin du Moyen Age*, F. Alcan, Paris, 1931.

twórca, legitymujący się dużym dorobkiem naukowym i pisarskim. Krytykując zjadliwie wszystkich swoich poprzedników i potępiając maniackie wysiłki alchemików poszukujących kamienia filozoficznego, usiłował pchnąć naukę chemii na nowe tory. Aby wyzwolić ją z pod piętna owej graniczącej z magią „sztuki tajemnej", nazwał początkowo swoją naukę „sztuką spageiryczną", wywodząc to określenie od greckiego *spao*, tj. dzielę i *ageiro*, czyli łączę. Jednak nowa ta nazwa nie miała szerszego i trwalszego powodzenia. Wówczas Paracelsus podjął kampanię za od-

Paracelsus

daniem chemii w służbę zdrowia, podobnie jak dawniej miała wysługiwać się metalurgii. Wiążąc więc chemię z praktyką lekarską, a w szczególności z zadaniem przygotowywania i stosowania leków, nazwał tę nową naukę „jatrochemią". Głównym drogowskazem jatrochemii jest twierdzenie Paracelsusa, że procesy życiowe mają charakter wybitnie chemiczny i mogą być w pewnym zakresie świadomie i celowo regulowane przy pomocy zabiegów chemicznych. Głosił on, że wszystkie ciała składają się przede wszystkim z trzech głównych substancji, z tak zwanych *tria prima* albo *tria principia*, a więc z ciężkiej i ciekłej rtęci, palnej siarki i niepalnych, ale rozpuszczalnych soli. Wszelkie zaburzenia w równowadze tych *tria prima* powstające sporadycznie w żywym organizmie, przejawiają się jako choroby. Paracelsus wprowadził więc do lecznictwa szereg soli różnych metali jak, arsenu, miedzi, ołowiu, srebra, rtęci, cynku, anty-

monu, a ponadto mleko siarkowe i alkohol, które miały przywracać zachwianą równowagę. Zdając sobie sprawę z trujących własności wielu soli, zbadał to zjawisko i stworzył pierwsze podstawy naukowe toksykologii, a zarazem ustalił ważką zasadę ścisłego dawkowania leków, która stała się następnie wytyczną do rozróżniania pomiędzy *dosis curativa* (dawka lecznicza) i *dosis toxica* (dawka trująca). Paracelsus uzyskał istotnie wiele sukcesów w zakresie lecznictwa praktycznego, rozszerzając wciąż swoją sławę cudownego lekarza. Główną jednak jego zasługą jest ugruntowanie chemii doświadczalnej. Wyodrębnił i opisał szereg metali, jak cynk, *kobolt*, bizmut oraz wiele soli, pochodnych tych metali. Paracelsus był przedmiotem bezwzględnej krytyki w XIX w. lecz po ponownym wydaniu jego dzieł pisarskich, został bardziej pozytywnie oceniony w XX stuleciu. Ogólnie też można stwierdzić, że jatrochemia, stając się stopniowo nową szkołą myślenia i eksperymentowania, spotęgowała wyraźnie krytyczne podejście do konserwatywnych tendencji alchemii, a ponadto rozbudziła szeroko zainteresowania dla dalszych badań i dociekań chemicznych.

Trzeba jednak uzmysłowić sobie, że wiedza przyrodnicza stanowiła w tym czasie wciąż jeszcze jedną zwartą całość, jeden nie rozklasyfikowany według specjalności kompleks. Stąd też jako czołowych działaczy i protagonistów nauki spotyka się często jednostki, które reprezentują równocześnie różne dyscypliny wiedzy jak filozofię, matematykę, botanikę, mineralogię, medycynę, fizykę, chemię itd. Zarazem momenty praktyczne, techniczne i technologiczne, przemysłowe i górnicze zaczynają odgrywać wielokrotnie większą rolę niż w okresie poprzednim. Odbiciem tego stanu rzeczy jest charakter rozwijającego się coraz silniej piśmiennictwa fachowego. O sztuce destylowania ciekłych mieszanin pisze pracę w 1507 r. H. Brunschwig. Od 1520 r. zaczynają się ukazywać drukiem liczne, mniejsze i większe monografie o procesach chemiczno-metalurgicznych, w 1540 r. ukazuje się w Wenecji technologiczna praca V. Biringuccia (1480—1538) [3] architekta, metalurga i chemika w jednej osobie o pirotechnice (*De la pirotechnia*). Giovanni V. Rosetti pisze o farbowaniu tkanin, a G. Fallopius w 1584 r. o rudach i metalach.

Największe jednak i najtrwalsze znaczenie zdobywają prace pisarskie i naukowe trzech wybitnych uczonych, którymi byli: Georg Bauer, nazywający siebie Agricolą (1494—1555), Andreas Libavius (1550—1616) oraz Francis Bacon (1561—1626). Olbrzymim wzięciem cieszyły się przede wszystkim wspaniale wydane, zdobne w drzeworyty dzieła Agricoli. W 1530 r. napisany został *Bermannus* traktat o górnictwie, w 1546 r. wyszła analogiczna praca *De natura fossilium*, a w 1556 r., po śmierci

[3] Stosowana jest również pisownia nazwiska: Piringuccio.

autora, ukazało się w Bazylei 12-księgowe, bogato ilustrowane dzieło *De re metallica*, uchodzące aż po koniec XVIII w. za znakomity podręcznik metalurgii i technologii chemicznej. Agricola, który od 1527 r. był lekarzem w Joachimowie w Czechach zajmował się gorliwie mineralogią, górnictwem, hutnictwem oraz technologią chemiczną. W dziełach swoich zestawił wyczerpujące dane o obróbce rud, wydobywaniu i oczyszczaniu siarki, o węglach, które uważał za zestaloną ropę naftową, o wydzielaniu

Agricola

różnych metali, m.in. mało znanego jeszcze bizmutu itd. Ponadto zajął się on tematami z dziedziny nieorganicznej preparatyki chemicznej. Niezależnie od jego wielkich zasług na polu mineralogii [4] uważany jest za pioniera ujęcia technologii chemicznej w sposób naukowy.

Podobnie i dla A. Libaviusa, nie obce były zagadnienia i tematy natury technologicznej, chociaż kładł on większy nacisk na naukę chemii ogólnej niż Agricola, a w pracy pt. *Alchymia collecta* dał wzorowy podręcznik dla studiów uniwersyteckich w którym wykazał szczególne zainteresowanie dla chemii analitycznej. W swoich publikacjach daje on szczegółowe opisy metod wytwarzania kwasu solnego i azotowego a przede wszystkim siarkowego przez spalanie siarki w powietrzu i w obecności saletry, niezależnie od opisów innych operacji przetwórczo-chemicznych.

Natomiast Fr. Bacon nie będąc z zawodu chemikiem stał się pionierem nowych, postępowych tendencji wywierających wielki wpływ rów-

[4] Porównaj Tschermak G., Becke F., *Podręcznik Mineralogii*, Wydawnictwo Kasy im. Mianowskiego Warszawa 1931, str. 2.

również na chemię. Bacon głosi z wielką siłą przekonania, że „należy ostatecznie uwolnić ducha ludzkiego i rozum od przesądów abstrakcyjnych, wszelkie badania opierając na metodach doświadczalnych"[5], a w książce zatytułowanej *Novum Organum* wydanej w 1620 r., wyłożył metodologię ścisłych badań naukowych, zalecając zgromadzenie faktów dotyczących bezpośrednio danego zjawiska czy zagadnienia, wyjaśnienie ich istotnych przyczyn, a wreczcie wyprowadzenie własnych wniosków oraz w granicach możliwości eksperymentalne potwierdzenie zestawionych faktów i tez [6].

Zdecydowanymi krytykami alchemii z pod znaku „kamienia mądrości" są przede wszystkim ci badacze i publicyści, którzy nowych drogowskazów poszukiwali w rzetelnej pracy i wiedzy, jak Biringuccio, Libavius, Agricola, oraz twórca pierwszej uniwersyteckiej pracowni chemicznej, lekarz, matematyk i profesor *chym-jatrii* w Marburgu J. Hartmann (1563—1631), a także Fr. Bacon oraz wielu ich równieśników i następców. Nie mniej jednak nawet wówczas gdy wszystko dookoła ulegało radykalnym zmianom oraz gdy fala postępu i reformy ogarniała to, co wiąże się ściśle z nauką, techniką i handlem, z powierzchni życia nie został wyparty bez reszty stary i konserwatywny sposób myślenia alchemicznego, oraz zupełnie dowolnego łączenia przyczyn i skutków. Przeciwnie, średniowiecze wciskało się wszystkimi szczelinami w czasy nowożytne, a zmaganie się tych dwóch metod ujmowania zagadnień przyrodniczych i technicznych przeciągało się sporadycznie aż po koniec XVIII stulecia.

Ten stan rzeczy można zilustrować tylko nielicznymi, a bardziej jaskrawymi przykładami. Tak więc opisując dokładnie technologię wypalania naczyń ceramicznych, C. Piccolpasso w połowie XVI w. podkreśla z naciskiem, że dobra jakość takich wyrobów zależy głównie od odpowiedniej fazy księżyca. Ten sam warunek stawia A. Neri na początku XVII w. dla wydajnej fabrykacji potażu. J. Becher, wybitny uczony i ojciec duchowy teorii flogistonowej, przypisuje zielonkawe zabarwienie zwykłego szkła dodatkowi alkaliów wyługowywanych z popiołów zielonych niegdyś roślin [7]. Nawet Stahl pod sam koniec XVII w. twierdzi, że barwa przedmiotów wynika z zawartości w nich flogistonu, czyli składnika decydującego o palności, a jego uczniowie i wyznawcy podtrzymywali tezę, że liczne zjawiska, jak np. naelektryzowanie tafli szklanej przez pocieranie, wiążą się bezpośrednio z zawartością flogistonu. Takie absurdalne twierdzenia lub wnioski głoszone były wówczas przy każdej okazji.

Ostateczny rezultat tego długotrwałego zmagania się poglądów na istotę zjawisk przyrodniczych oraz na podstawowe zadania i założenia

[5] Lockemann G., *op. cit.* t. I. str. 77.

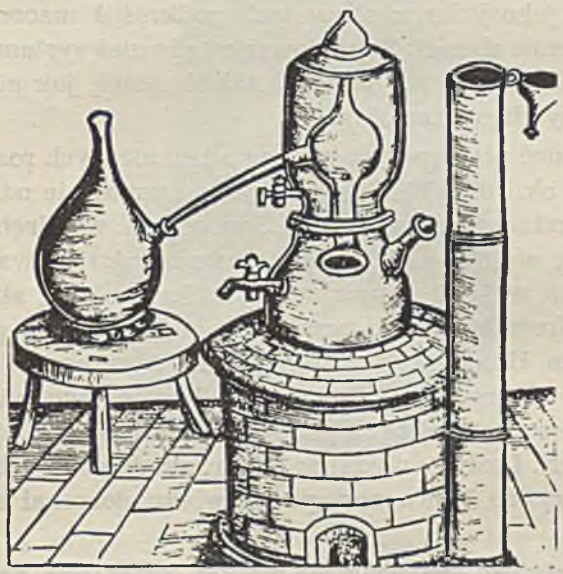
[6] Allcott A., Bolton H. S., *op. cit.* str. 25

[7] Ganzenmüller W., *op. cit.* str. 146.

chemii nie może jednak ulegać wątpliwości. Przewagę zyskują stopniowo te czynniki, które dowolności interpretacyjnej przeciwstawiły matematyczną ścisłość, metafizyce — doświadczenie, abstrakcji i symbolice alchemicznej — realizm, a powierzchownemu wyobrażeniu — konkretny i sprawdzalny stan faktyczny. Ewolucja rozwijała się systematycznie po linii wskazań Fr. Bacona. Pod koniec XVII w. tendencje te podsumował najwybitniejszy uczony tego stulecia Izaak Newton w podstawowym dziele *Principia mathematica philosophiae naturalis* (matematyczne podstawy filozofii przyrodniczej). Jednakże droga do ostatecznego zwycięstwa nowych prądów w nauce i technice była długa i żmudna. Zwycięstwo zaś było wynikiem rodzącego się współdziałania licznych czynników i różnorodnych sił twórczych. Na czołowym miejscu wśród nich należy wymienić fakt kreowania w tym czasie narodowych Akademii Nauk, które — tak jak stworzone w ubiegłych wiekach szkoły uniwersyteckie — odegrały pierwszorzędną rolę w przygotowaniu wysoce kwalifikowanej kadry fachowców oraz w wytworzeniu sprzyjającej atmosfery dla rozwoju nauk przyrodniczych. Akademie te wydając periodyczne sprawozdania z osiągnięć naukowych w kraju i zagranicą, publikując informacje o prowadzonych badaniach, rejestrując nowe wynalazki stały się propagatorem i kuźnią wielkiej pracy i epokowych zdobyczy w wielu dziedzinach wiedzy ścisłej. Pierwsza akademia stworzona została w Rzymie już w 1603 r., druga nieco później we Florencji. W 1662 r. z inicjatywy wybitnych naukowców angielskich: Boyle'a, zwanego w Anglii *father of chemistry*, R. Hookea, Wrena, Petty'ego, lorda Brounckera, Moray'a i kilku innych powstaje w Londynie „The Royal Society for the Improvement of Natural Knowledge" (Królewskie towarzystwo dla Pielęgnowania Wiedzy Przyrodniczej). Towarzystwo to poczęło niebawem (od 1665 r.) wydawać czasopismo *Philosophical Transactions*, drukując w nim rozprawy o osiągnięciach naukowych, szczególnie z dziedziny fizyki i chemii. W 1666 r. Colbert tworzy we Francji podobną instytucję, „Académie Royal des Sciences". Jest sprawą znamienną, że akademie te przyjmują czynną postawę w stosunku do zagadnień zarówno naukowych, jak i praktycznych, ogłaszając konkursy z nagrodami pieniężnymi za osiągnięcia z dziedziny mechaniki, fizyki, chemii, botaniki, a także medycyny, przemysłu, techniki, rolnictwa, żeglugi itp. Pod ich wpływem powstają nowe czasopisma naukowe, mnożą się książki i podręczniki fachowe, rosną bodźce do krzewienia i upowszechniania wiedzy.

Na samym początku XVII w. wydaje się drukiem wiele dawniejszych prac z zakresu chemii, np. Paracelsusa, B. Valentinusa i in.; w 1605 r. występuje na widownię pisarz Polak, słynny alchemik Michał Sędziwój, ogłaszając traktat pt. *Cosmopolitae novum lumen chimicum;* potem przychodzi do głosu długi szereg autorów, wśród których najwybitniejszymi

są: A. Libavius (*Tractatus de igne naturae*, 1613), D. Sennert (*De Chymicorum cum Aristotelicis et Galenicis consensu ac dissensu*, 1619), J. Hartmann (*Praxis Chymiatrica*, 1633), J. R. Glauber, G. Agricola, R. Boyle, J. J. Becher, N. Lemery, J. Kunckel, E. Mariotte (Discours de la nature l'air, 1679), R. Bohn, G. E. Stahl. Obok nich działa cały legion pisarzy teoretyków i praktyków, profesorów i technologów, lekarzy i zakonników podtrzymujących tendencje emancypacji chemii czystej i stosowanej, jako samodzielnej nauki i samodzielnych gałęzi wytwór-



Urządzenie do rektyfikacji cieczy z początku XVI w.

czości. Od czasu do czasu zachodzą fakty, świadczące o skuteczności tych wysiłków. Tak np. w 1609 r. uniwersytet w Marburgu kreuje pod kierownictwem Hartmanna pierwszą samodzielną katedrę chemii. W zakresie badań chemicznych przejawia się w tym okresie jeszcze jedna nowość: uczeni i praktycy zaczynają specjalizować się w węższej problematyce chemicznej, dochodząc do odkrycia nowych zjawisk i ważnych praw natury. Do takich uczonych należy zaliczyć przede wszystkim J. B. van Helmonta (1577—1644) lekarza, fizyka i chemika, wyznawcę nauk głoszonych przez Paracelsusa, a równocześnie pionierskiego badacza gazów. Wprowadził on po raz pierwszy rozróżnienie pomiędzy gazami i parami. Na podstawie materiału doświadczalnego wykazał on ponadto, że ten sam gaz, dwutlenek węgla, powstaje przy działaniu kwasów na marmur lub potaż, podczas spalania węgla i fermentacji alkoholowej, a zawarty jest

w znaczniejszych ilościach w różnych naturalnych wodach mineralnych. Stwierdził on, że w procesach spalania zużywa się część powietrza. Van Helmont wpowiadał się również w innych sprawach chemicznych. Mówiąc o materiałach palnych użył określenia *flogiston* [8], ale raczej w sensie dosłownym. Badał szereg zjawisk z zakresu chemii fizjologicznej, a nawracając do twierdzeń paracelsusowskich dodawał, że różne właściwości materii należy tłumaczyć różnym usytuowaniem przestrzennym cząstek owych „pryncypiów". Na inne zagadnienia skierował swoją uwagę Joachim Jungius (1587—1657) niemiecki matematyk, botanik, lekarz i chemik, który jako jeden z pierwszych podkreślił znaczenie badań ilościowych w zakresie chemii. Zainicjował on również systematyczne próby ustalenia ścisłych naukowych definicji takich pojęć, jak pierwiastki albo procesy wymiany chemicznej, itp.

Wykaz osiągnięć naukowych i naukowo-technicznych rozrasta się obecnie nieustannie: ok. roku 1600 Chr. Schürer ponownie odkrywa zapomniany barwnik mineralny smaltę, F. Bartoletti wyodrębnia w 1615 r. cukier mlekowy, w 1620 r. T. de Mayerne uzyskuje kwas benzoesowy, a Angelus Sala w 1630 r. przeprowadza fermentację alkoholową roztworu cukru. Wreszcie szeroki rozgłos zyskuje odkrycie przez hamburskiego alchemika Henniga Branda fosforu uzyskanego przy prażeniu pozostałości po odparowaniu moczu. Pod koniec tego wieku niektórzy naukowcy i profesorowie osiągali poważne sukcesy w swojej pracy dydaktycznej; tak np. N. Lemery wydał w 1675 r. akademicki podręcznik *Cours de Chymie*, który do końca następnego wieku doczekał się osiemnastu wydań.

Wszystkie, wymienione powyżej ważkie osiągnięcia przyćmił jednak niebawem swoim ogromnym dorobkiem naukowym, badawczym, pisarskim i technologicznym Robert Boyle (1627—1691) jeden z założycieli i przewodniczący „Royal Society" w Londynie, umysł bardzo wszechstronny i na wskroś postępowy. Był żarliwym propagatorem i współtwórcą emancypacji chemii naukowej. Przeciwstawiając się poglądom alchemików i jatrochemików wskazywał z naciskiem, że chemia jako wiedza przyrodnicza musi opierać się na ścisłych obserwacjach i wnikliwych doświadczeniach. Realizując. konsekwentnie zasady głoszone przez Fr. Bacona, sądził, że niezbite fakty winny być tak samo głównym celem nauki chemii, jak dowody doświadczalne głównymi środkami tych badań. Za fundamentalne zadanie chemii Boyle poczytywał badanie i wyjaśnienie właściwości wszelkich materiałów i substancji oraz przemian zachodzących w reakcjach chemicznych. Wyniki osiągnięte przez

[8] Określenie pochodzenia greckiego, które możnaby może przetłumaczyć jako rodnik płomienia.

Boyle'a zarówno w zakresie ustalenia wielu zasadniczych pojęć, jak i w dziedzinie chemii teoretycznej oraz fizyki stały się rychło drogowskazami dla dalszych badań i przełomowych osiągnięć. Odrzucając zdecydowanie zarówno starożytną teorię atomową Demokryta i Empedoklesa, jak i ich poglądy na pramaterię czy też prapierwiastki oraz wywody

Robert Boyle

Paracelsusa o znaczeniu i właściwości owych *tria prima*, R. Boyle stwierdza przede wszystkim istnienie wielu różnych pierwiastków chemicznych. Definiuje je też wyraźnie jako substancje odporne na wszelkie zabiegi analityczne w sensie podzielności na różne składniki. Każdy pierwiastek — zapewnia on — może zawierać tylko jeden rodzaj materii i żadnym znanym sposobem nie można go już rozłożyć dalej na chemicznie odrębne części. Obecnie uważa się czasem [9], że to sformułowanie Boyle'a, ogłoszone w 1661 r., zaktualizowało natychmiast sprawę wewnętrznej budowy materii oraz mechaniki przemian chemicznych i dlatego musi być uważane za przełomowy fakt zamykający ostatecznie okres alchemii, a otwierający okres nowożytnej chemii naukowej. W parę lat później, gdyż w 1666 r., w dziale pt. *The Origine of Formes and Qualities according to the Corpuscular Philosophy* Boyle opowiada się za przyjęciem struktury atomowej lub cząsteczkowej ciał, przy czym za atomy uważa najdrobniejsze, niepodzielne fizycznie ani chemicznie cząstki po-

[9] Cragg L. H., Graham R. P. *Podstawy, nowoczesnej chemii ogólnej*, PWT. Warszawa 1958.

szczególnych pierwiastków, różniące się między sobą jakością, wielkością, postacią i ruchem. W 1687 r. również I. Newton podtrzymał jako słuszną teorię atomową, która tłumacząc i wyjaśniając coraz więcej niezrozumiałych dawniej zjawisk chemicznych, zyskiwała wciąż nowych zwolenników.

Rafinowanie siarki w XVI w.

W dziedzinie fizyki R. Boyle łącznie ze swymi współpracownikami: R. townleyem i R. Hookiem, a niezależnie od analogicznych badań i wyników, do których doszedł fizyk francuski E. Mariotte, ustala podstawowe prawo gazowe, zwane później prawem Boyle'a-Mariotte'a, głoszące, że w danej temperaturze objętości gazów są odwrotnie proporcjonalne do ciśnień. Boyle położył też mocne podwaliny pod ugruntowanie chemii analitycznej. Gdy dotychczas badano głównie zachowanie się wszelkich substancji w wyższych temperaturach, to Boyle zastosował na szeroką skalę badania w roztworach wodnych, co otwarło przed chemią analityczną najszersze możliwości ustaleń najpierw jakościowych, a następnie ilościowych. Ponadto wprowadził on do użytku analizy chemicznej szereg wskaźników jak np. lakmus. Również w wielu innych dziedzinach prace tego uczonego pozostawiły konkretne ślady. Tak np. wprowadził on ważne rozróżnienie pomiędzy związkami chemicznymi i mieszaninami, a badając procesy spalania stwierdził zużywanie się przy tym części powietrza.

Boyle rozwinął aktywność w zakresie publicystyki naukowej. Wykazując najszersze zainteresowania nawet tematami nie związanymi z przyrodoznawstwem, Boyle wydał drukiem wiele wartościowych prac, w tym tak doniosłe, jak *The Sceptical Chymist* (Oxford, 1661), *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy* (Oxford, 1663) oraz cytowane już dzieło o teorii atomowej z 1666 r. i wiele innych.

Sylwetka tego uczonego byłaby jeszcze niepełna, gdyby nie wspomnieć o jego instynkcie technologicznym i pracach związanych z tymi problemami. Od początku swojej drogi naukowej zajmował się różnymi procesami i metodami przetwórczymi. Tak więc prowadząc studia nad przebiegiem suchej destylacji drewna wydzielił w 1661 r. nowy produkt, alkohol metylowy; udoskonalił metodę destylacji frakcyjnej, a zarazem wprowadził do techniki doświadczalnej destylację pod zmniejszonym ciśnieniem. Ulepszył znacznie metodę produkcji fosforu i stwierdził, że spalając fosfor uzyskuje się nowy kwas nieorganiczny. Dla charakterystyki ówczesnych stosunków można zaś dodać, że jego laborant Hankiewicz, korzystając z opracowań swojego mistrza, wytwarzał w ciągu wielu lat fosfor i stał się prawie wyłącznym dostawcą tej substancji dla wszystkich alchemików europejskich, sprzedając unję fosforu (ok. 30 g) po 10—11 dukatów.

Reasumując wyniki działalności Boyle'a, można stwierdzić niewątpliwy fakt, że uczony ten pchnął rozwój nauk chemicznych o wielki krok naprzód, a łamiąc alchemiczny, abstrakcyjny sposób myślenia, wyżłobił nowy, silny ślad ścisłego rozumowania i logicznego wnioskowania, oderwał chemię od wszelkich obcych pni i skierował ją na drogę samodzielnego rozwoju. Konkretne rezultaty jego pracy nie dadzą długo na siebie czekać.

Równocześnie zaś inni wybitni badacze i publicyści zajmowali się głównie technologią i chemią przemysłową. Jednym z najznakomitszych w tej grupie był J. Glauber (1604—1670). Była to indywidualność zupełnie nieprzeciętna, o bardzo szerokich zainteresowaniach naukowych, technicznych i ekonomicznych i równie wielkim, a wszechstronnym dorobku twórczym. Glauber niezwykle ruchliwy, a zarazem zamknięty w sobie samouk, tkwiący równocześnie w świecie starych pojęć i dogmatów alchemicznych oraz w świecie nowych tendencji racjonalistycznych — był tym typem człowieka, o którym mówi się w Anglii „self-made-man". Swoją karierę życiową rozpoczynał jako wędrowny wytwórca luster; następnie był wyznawcą jatrochemii, kierownikiem apteki, jakby dla zaznaczenia, że odtąd aż do połowy XIX w. apteki staną się wylęgarnią wielkich talentów chemicznych. Z tej odskoczni znalazł się niebawem w czołowym szeregu wybitnych badaczy naukowych i płodnych pisarzy. Ponad wszystkimi cechami i uzdolnieniami Glaubera górowała jedna, szczególna

cecha: był wyposażony w jakiś niezwykły instynkt technologiczny, inżynierski i twórczy, który powodował, że w odniesieniu do każdego zagadnienia i każdej sprawy przyciągającej jego uwagę pozostawił rozwiązania nowe, ważkie i trwałe.

Barwienie tkanin w XVI w.

Nie posiadając formalnego przygotowania teoretycznego Glauber przestudiował doświadczalnie wiele skomplikowanych reakcji i procesów chemicznych, wyciągając z naukowego punktu widzenia prawidłowe wnioski. Tak rozłożył sól kuchenną i saletrę sodową przy pomocy kwasu siarkowego. Stwierdził przy tym zasadę wypierania ze związków chemicznych kwasów słabszych przez kwasy silne, uzyskał stężony kwas solny i azotowy, a wreszcie odkrył nowy produkt: siarczan sodowy zwany później solą glauberską. Przypisując tej soli cudowne właściwości propagował szeroko zastosowanie jej w lecznictwie. W wyniku żmudnych prac przebadał długi szereg podstawowych i szeroko stosowanych później w technice przemysłowej operacji chemicznych jak: podstawianie i wymiana reszt kwasowych w różnych solach, utlenianie przy pomocy dwutlenku manganu, redukcja węglem, wydzielanie cukru gronowego i wiele innych. W latach 1648—1650 zajmuje się opłakanymi skutkami ekonomicznymi wojny trzydziestoletniej w Niemczech, a równocześnie ogłasza epokowe dzieło o suchej destylacji surowców organicznych. Stosując destylację frakcyjną i dodatkowe oczyszczanie produktów stężonym kwasem solnym otrzymuje z przerobu drewna ocet i po raz pierwszy z rozkładu olejów akroleinę, z węgla kamiennego fenol oraz „lotny spirytus"

tj. surowy benzol. Badając zaś ekstrakty różnych roślin, GLAUBER wytrącił, choć nie rozpoznał, szereg alkaloidów; zajmując się różnymi tematami technologicznymi — nawet materiałami wybuchowymi, wyrobem imitacji kamieni szlachetnych itp. — udoskonalił wiele aparatów laboratoryjnych, wprowadził do użytku butelki z doszlifowanymi korkami, zastosował uszczelnienia rtęciowe itd. Był też znanym pisarzem naukowym. W 1689 r., a więc już po śmierci GLAUBERA, wydano w 7 tomach wszystkie jego publikacje pt. *Opera omnia*, obejmujące ok. 40 tematów, a m.in. pisma owiane duchem tradycyjnej alchemii jak: *Novi furni philosophici* (nowe piece filozoficzne) albo *De auro potabile* (o złocie pitnym).

Jest też cechą charakterystyczną tego okresu, że im bardziej będzie kurczyć się teren abstrakcyjnych dociekań i doktryn alchemicznych, tym bardziej będą koncentrować się zainteresowania ludzi zaliczających się do niezłomnych alchemików i poszukiwaczy kamienia mądrości — z wielką korzyścią dla sprawy chemii — na zagadnieniach praktycznych. Do takiej grupy należy np. J. KUNCKEL (1630—1702) wybitny eksperymentator, odkrywca dawno zapomnianej już metody wytwarzania szkła rubinowego przez rozpuszczenie w stopie małych ilości złota, i równocześnie alchemik podtrzymujący twierdzenie, że powietrze, ciepło i zimno należą do rzędu substancji nie posiadających ciężaru. Wspomniano już o tym, że w 1669 r. alchemik BRAND izolował fosfor, a demonstracje przeprowadzane z tą substancją wywoływały powszechny podziw i sensację. KUNCKEL przypisywał sobie zasługę odkrycia tego materiału i w związku z tym sporem ogłosił drukiem w 1678 r. rozprawę „O cudownym fosforze". Inny wyznawca doktryn alchemicznych JAN JOACHIM BECHER (1635—1682) zapisał się na trwałe w historii technologii ważnymi z punktu widzenia przyszłości odkryciami. On bowiem opracował i zrealizował metodę produkcji spirytusu z ziemniaków, w dalszym ciągu badań, działając stężonym kwasem siarkowym na spirytus otrzymał eter etylowy, a w 1669 r. wytworzył po raz pierwszy z alkoholu — tak ważny dziś — etylen. BECHER zajmował się ponadto rozkładową destylacją węgla kamiennego i w związku z tym w 1681 r. uzyskał patent angielski na wytwarzanie smoły węglowej i paku przy „odsiarczaniu węgli", jak nazywano wówczas proces koksowania.

Bilansując aktywa technologiczne oraz osiągnięcia przemysłowe w zakresie chemii w XVI i w XVII w. trzeba jednak zaznaczyć, że w okresie tym najistotniejszy postęp wyrażał się nie tyle w odkrywaniu nowych, nieznanych dotąd produktów chemicznych, ile raczej w systematycznym udoskonalaniu metod przetwórczych i przede wszystkim w rozprzestrzenieniu tego przemysłu na obszarze Europy zachodniej i środkowej. Jeszcze w okresie wojen krzyżowych były to kraje na wskroś rolnicze, z reguły o bardzo prymitywnej strukturze gospodarczej. Pod koniec XVII w. pań-

stwa te przedstawiały obraz zupełnie odmienny [10]. Były już zwartymi jednostkami narodowymi, dysponującymi często bezmiernymi obszarami kolonialnymi o licznych i doskonale prosperujących kompaniach handlowych o światowym zasięgu; państwa te operowały znacznymi ilościami środków monetarnych i pielęgnowały pieczołowicie własną produkcję przemysłową, przede wszystkim włókienniczą, metalurgiczną, garbarską oraz górnictwo. Na marginesie tego wielkiego dynamizmu gospodarczego Europy formował się, wzmacniał i wyjątkowo rozkwitał wciąż jeszcze stosunkowo drobny i drugorzędny, ale zyskujący na samodzielności przemysł typu chemicznego.

Za jeden z przykładów takiej właśnie pomyślnej ewolucji może posłużyć produkcja artystyczno-ceramiczna. Naśladując początkowo Maurów, którzy na Majorce doprowadzili wytwórczość kolorowej i ozdobnej „majoliki" do najwyższego rozkwitu oraz mistrzów florenckich z końca średniowiecza, podjęto w licznych miastach Italii produkcję ceramiki artystycznej i w szczególności fajansów. Niebawem produkcja ta zasłynęła w Pawii, Wenecji, Neapolu, Urbino oraz w Faenzy (skąd pochodzi nazwa fajansów). Tak np. wyroby Pawii, szczególnie po wprowadzeniu w latach 1515—1537 przez Giorgio Andreolego pięknej, tęczowej glazury, poszukiwane były w całym świecie. Następnie rozwinięto tę wytwórczość we Francji, gdzie Bernard Palissy, doprowadził fabrykację fajansów i emalii, pokrywanych barwnymi powłokami do wysokiej doskonałości. Holenderskie centrum tej produkcji w Delftach miało renomę światową i eksportowało dużą część swoich wspaniałych, malowanych smaltą wyrobów do wielu krajów obcych. Szczególnie poważny był wywóz z Delft do Anglii i do Niemiec. Ale już w drugiej połowie XVI w. powstają właśnie w Anglii i w Niemczech własne fabryki fajansów i majoliki.

W zakresie produkcji szkła można zanotować znamienny fakt: przodownictwo w tej dziedzinie w Europie XVII w. obejmują Czechy. Rozwinięto tam na znaczną skalę wyrób szkła kryształowego, którego zbyt w Europie rozwijał się tak pomyślnie, że niektóre z państw poczęły wprowadzać wysokie cła na obce wyroby szklane, usiłując wesprzeć w ten sposób produkcję własną. W pewnym związku z rozwojem ceramiki barwnej można stwierdzić ugruntowanie się produkcji smalty błękitnej na podstawie metody stapiana krzemianu kobaltowego, opracowanej na przełomie XVI i XVII w. przez Chr. Schürera. Schürer odstąpił swój pomysł Anglii, gdzie istotnie podjęto produkcję smalty na dowożonych z Saksonii rudach kobaltowych. W Saksonii jednak zabroniono niebawem

[10] Knight M. M., Barnes H. E., Flügel F., *Economic History of Europe*, part II, Houghton Mifflin Comp. (The Riverside Press) New York 1928, str. 290—307.

wywozu rudy i uruchomiono własną wytwórnię smalty, którą eksportowano głównie do Delft. Pewien rozgłos zyskało też na początku XVII w. odkrycie mineralnej farby świecącej w nocy przez alchemika z Bolonii, V. Casciarotusa. W okolicy tego miasta, pod Monte Paterno, wydobywano szpat ciężki, czyli baryt; minerał ten wyżarzony z węglem dawał produkt, który po naświetleniu fosforyzował w nocy. Później stwierdzono, że i inne minerały, np. sole strontu, posiadają podobną właściwość. Oczywiście wszystkie inne, znane od dawna farby mineralne były nadal w użyciu.

Praktycznie większe znaczenie miał postęp dokonany w zakresie metalurgii oraz w działach pomocniczych, związanych z hutnictwem i metalurgią. Ogólnie można stwierdzić, że światowa wytwórczość metali i różnych stopów wzrosła w tym czasie dość znacznie. Tak np. konsekwencją zmiany techniki militarnej a przede wszystkim zastosowania artylerii, był nie tylko wzrost produkcji saletry i siarki, lecz również metali kolorowych. Przejawiło się to w zwyżkującym imporcie do Europy głównie miedzi i cyny [11] oraz w podejmowaniu prób wytwarzania cynku.

Ok. 1600 r. związane z hutnictwem i metalurgią koksownictwo istniało już w Anglii i w zachodnich krajach niemieckich, gdzie dysponowano znacznymi zasobami dobrych węgli spiekających. Początkowo do koksowania węgla posługiwano się mielerzami, zupełnie podobnymi do tych, jakie używano od dawna do wytlewania drewna. Później, pod koniec XVII w. prowadzono proces koksowania w mielerzach obmurowanych u dołu, bardziej szerokich i płaskich niż te, które stosowano do zwęglania drewna, przy czym wydajność koksu nie przekraczała 60—65%. Trzeba jednak zaznaczyć, że produkcja ta zyskała w technice przetwórczej nieco poważniejsze znaczenie dopiero w następnym stuleciu, gdy rozwój metalurgii zaczął już wyraźnie wyprzedzać wytwórczość węgla drzewnego. Również patent Bechera na wydzielanie smoły węglowej i paku przy koksowaniu nie posiadał wówczas większego praktycznego znaczenia.

W zakresie technologii nieorganicznej jeszcze kilka innych produktów zyskało w tym czasie pewne znaczenie gospodarcze. W pracowniach aptecznych wytwarzano więc w niedużych ilościach, podobnie jak czynił to Glauber, trzy kwasy mineralne: siarkowy, solny i azotowy: znano też wodę królewską. Z kwasów stosunkowo najszersze zastosowanie miał kwas siarkowy. Wytwarzano go dawniej, również w ilościach laboratoryjnych, różnymi sposobami. Ponieważ zaś kwas taki miał różne stężenia i zabarwienia, sądzono przeto, że są to chemicznie różne kwasy. Dopiero w 1559 r. Libavius identyfikował je jako ten sam kwas siarkowy oraz opisał dokładnie metodę produkcji.

---

[11] Hauser H. et Renaudet A, *op. cit.*, str. 348—349.

Do produkcji szkła, warzenia mydła, impregnacji drewna używane były różne związki chemiczne, jak naturalna soda, ługi popiołowe, ałun, boraks, siarczan żelazawy i in. Szczególnie wytwórczość ałunu rozwinęła się poważniej w krajach niemieckich, gdzie istniały warzelnie w Saalfeldzie, Lüneburgu i w Plauen.

Przemysł włókienniczy, rozwinięty od dawna na dużą skalę, w Europie zachodniej, wywierał oczywiście znaczny wpływ również na rozwój przemysłu chemicznego; był on bowiem poważnym konsumentem sody, ałunu, mydła, krochmalu, a przede wszystkim barwników organicznych. W XVI w. Europa uczyniła znaczny krok naprzód w kierunku pewnego uniezależnienia się w tym zakresie od dowozu ze wschodu, tak często utrudnianego lub nawet przerywanego przez Turków. W połowie tego wieku pierwsi Holendrzy zapoczątkowali, a następnie rozwinęli uprawę marzanny, z której korzeni wytwarzano barwnik szeroko stosowany we włókiennictwie. Za ich przykładem poszli inni. Colbert wprowadził uprawę marzanny w Prowancji, a *Karol V* rozpowszechnił ją w Alzacji. Zakres stosowanych barwników rozszerzył się również, gdy z kontynentu amerykańskiego poczęto dowozić do Europy tak cenne barwniki, jak koszenila lub drzewo błękitne. Jednakże wciąż jeszcze górowało swoją wysoką jakością i trwałością dowożone z Indii w sporych ilościach indygo roślinne. Toteż w XVII w. na terenie Europy rozwinęła się ostra walka konkurencyjna pomiędzy barwnikiem pochodzenia krajowego (urzetem) a importowanym indygiem; z walki tej, pomimo pomocy czynników rządowych i stosowania wszelkiej dopuszczalnej dyskryminacji, zwycięsko wychodziło raczej indygo.

Krochmal wytwarzali od XVI w. Holendrzy na skalę fabryczną, zaopatrując licznych odbiorców zagranicznych w ten produkt, a Genua w XVII w. stała się wielkim wytwórcą mydła. Wywóz mydła genueńskiego był szeroko rozwinięty, docierając nawet do państw basenu bałtyckiego. W tym samym czasie Colbert nie bez powodzenia usiłował ożywić na nowo produkcję mydła we Francji, a w szczególności w tradycyjnym ośrodku, tj. Marsylii.

Jest jeszcze jedno charakterystyczne zjawisko do zanotowania. Znikome spożycie cukru w Europie na przełomie XVI i XVII w. zaczęło nagle szybko wzrastać. Wiązało się to ściśle z rozwojem użycia importowanej w coraz większych ilościach kawy i kakao. Częściowo dowożono więc cukier trzcinowy w stanie surowym i rafinowano go na miejscu. W ten sposób powstały stopniowo, np. w Niemczech, fabrycznie pracujące rafinerie cukru w Hamburgu, Dreźnie, w Augsburgu itd.

Można tu także wspomnieć, że pod koniec pierwszej połowy XVI stulecia głównie na terenie Italii, jakoby pod wpływem Katarzyny Medicis, nastąpił renesans używania perfum, dowożonych początkowo z Indii,

Chin, Filipin, Turcji, Bułgarii, a nawet z Meksyku. Moda ta przeniknęła stopniowo do innych krajów, w szczególności do Francji, gdzie położono podwaliny pod rozwój własnej wytwórczości olejków zapachowych, ekstrahowanych z kwiatów.

Fabryka cukru trzcinowego w XVI w.

Wreszcie nie można zamknąć tego wykazu przykładowych działów produkcji chemicznej bez położenia akcentu na małym, ale jakże ważnym produkcie owego czasu. Idzie tu o inkausty, tj. atramenty preparowane albo przez lekarzy i apteki, albo też przyrządzane w pracowniach klasztornych według różnorodnych, tradycyjnych recept. Widocznie sprawa ta poczytywana była powszechnie za tak istotną, że na temat technologii atramentu pisali traktaty liczni, czasem wybitni pisarze. Tak np. Hieronimus Cardanus, profesor medycyny i matematyki w Mediolanie, pisze na ten temat dużą pracę. Tym samym zagadnieniem zajmują się w specjalnych traktatach A. Pademontanus (1557 r.) i Caneparius, i Boyle, Niccolo (ojciec) i Lodovico (syn) Lemery i in. Prace te miały wiele wydań i tłumaczone były na obce języki. Świadczy to choćby pośrednio, ale niemniej wymownie o wielkim zainteresowaniu piśmiennictwem.

Dorzucić tu można nie jedną interesującą informację. Tak np. w drugiej połowie XVI w. B. Palissy głosi, że wyciągane przez rośliny z gleby składniki mineralne należy sztucznie uzupełniać, a Glauber sugeruje

wręcz wprowadzanie do gleby saletry jako nawozu sztucznego. Rozwój papiernictwa, garbarstwa, przemysłu fermentacyjnego i in. jest w tym czasie dość znaczny. R. Hooke zajmuje się pomysłem wytwarzania sztucznego włókna, a Papin opracowuje metodę produkcji żelatyny z kości. Już pod koniec XV w. podjęto badania nad związkami fluoru, zaś o reakcjach między fluorytem i kwasem siarkowym wspomina Basilius Valentinus, Agricola i in. Od czasów działalności jatrochemicznej Paracelsusa rozwój stosowania leków chemicznych wzrósł wielokrotnie.

Skoro jednak idzie tu nie o szczegóły, ale o sumaryczną i wyrazistą syntezę, to trzeba zawrócić ponownie w stronę chemii teoretycznej, gdyż właśnie tam znajduje się najbardziej znamienny fakt, który kładzie najsilniejszy akcent na końcowych latach obu ubiegających stuleci XVI i XVII. Tym faktem jest ostateczne sformułowanie i ogłoszenie w 1697 r. tzw. teorii flogistonowej przez profesora medycyny i chemii w Halle, G. E. Stahla (1660—1734). Teoria ta przyjmowała jako pewnik, że substancje palne zawierają pewnego rodzaju „materię ognia", czyli flogiston, a procesy palenia się polegają właśnie — jak to łatwo można naocznie stwierdzić — na wydzielaniu się flogistonu. Jedne ciała, jak np. węgiel drzewny, siarka, spirytus posiadają tego flogistonu bardzo dużo i dlatego spalają się żywym i bujnym płomieniem, inne natomiast zawierają go znacznie mniej, toteż proces spalania przebiega w tym przypadku wolniej i oporniej. Można przy tym zaobserwować dwa charakterystyczne zjawiska. Po pierwsze materiały tak szlachetne jak metale po utraceniu flogistonu przechodzą w produkty mniej szlachetne, kruche, ziemiste i mało użyteczne; po drugie spalając w naczyniu zamkniętym ciała bogate we flogiston, np. świecę, siarkę itp., konstatuje się szybkie sparaliżowanie procesu spalania: świeca gaśnie, a siarka przestaje się spalać. Według argumentacji wyznawców teorii flogistonowej jest to oczywiście wynikiem wysycenia całej zamkniętej przestrzeni flogistonem, który po osiągnięciu najwyższego stężenia przestaje się nadal wydzielać. Słuszność tej wykładni — głosili oni — można skontrolować doświadczalnie przez odwrócenie biegu procesu. Jeżeli więc „zwapniały" metal, tj. pozbawiony flogistonu i cech metaliczności, wypraży się z materiałem tak bogatym we flogiston, jak np. węgiel drzewny, to w rezultacie węgiel spali się, a jego flogiston przeleje się do ziemistej substancji, regenerując materiał wyjściowy, czyli metal. Podobnie gdy siarka oddaje część swego flogistonu, tworzy się początkowo kwas siarkawy; przy dalszej deflogistanizacji kwas siarkawy przetwarza się w kwas siarkowy. Ale gotując kwas siarkowy z węglem drzewnym przeciwdziała się temu procesowi, a nawet odwraca się bieg reakcji: najpierw regeneruje się kwas siarkawy, a następnie wydzieli się wolna siarka. Tak więc za każdym razem zwrot flogistonu doprowadza proces do punktu wyjściowego.

Stahl i jego zwolennicy uważali te zjawiska za tak ważne, zasadnicze i tak powszechne, że na nich usiłowali oprzeć fundamentalne kryteria chemiczne do sklasyfikowania wszystkich związków oraz wszystkich poznanych już reakcji. Wskazywano więc np., że stopniowi powinowactwa metali odpowiada szybkość ich rozpuszczalności w kwasach. Na podstawie tego zjawiska można uszeregować metale według stopnia ich reaktywności od cynku, jako metalu najłatwiej rozpuszczalnego, do cyny, rtęci i srebra jako metali najoporniejszych. W myśl teorii Stahla ta prawidłowość jest odpowiednikiem szybkości deflogistonizacji, tj. „zwapniania się" metalu przy prażeniu go w warunkach swobodnego wydzielania się flogistonu, czyli przy nieograniczonym dostępie powietrza. Ta nowa teoria

Jerzy Ernest Stahl

odznaczała się tym, że niezależnie od najbłędniejszego punktu wyjściowego tłumaczyła dość konsekwentnie ogromną liczbę zjawisk chemicznych i fizycznych, odpowiadając dobrze potrzebom i tendencjom ówczesnej nauki, poszukującej gorliwie więzi pomiędzy przyczyną i skutkiem. Przemycając dowolne, nigdy nie sprawdzone założenie, teoria ta budowała następnie logiczny gmach interpretacji wielu różnorodnych faktów,

jednając dla siebie coraz liczniejsze zastępy wyznawców. Wielu wybitnych chemików i fizyków opowiedziało się za tą teorią. Jeszcze w 90 lat później Immanuel Kant, wielki filozof niemiecki pisał w 1787 r.: „teoria flogistonowa Stahla rzuciła jasny snop światła na całokształt badań przyrodniczych"[12]. Prawie w dwa wieki po ogłoszeniu obalonych już doszczętnie wywodów Stahla, W. Ostwald głosił, że Stahl stworzył pierwszą uporządkowaną systematykę zjawisk chemicznych, uzasadnioną logicznie.

Niemniej jednak już wówczas natrafiano wciąż na fakty rejestrowane przez wybitnych naukowców, przeczące w sposób jaskrawy teorii flogistonowej. Konserwatyzm myślowy jest jednak potężną siłą; wiara w abstrakcyjny flogiston była tak niewzruszona, że poszukiwano raczej za sposobem uzgodnienia faktów z teorią niż za dokładnym, naukowym sprawdzeniem istoty tych niezgodności. Już wcześniej fizyk i wynalazca pompy powietrznej, a zarazem burmistrz Magdeburga, Otto Guericke (1602—1681) demonstrował, że w przestrzeni, z której wypompowano powietrze świeca nie pali się, a zwierzęta giną. Z faktem tym teoria flogistonowa nie liczyła się, choć narzucało się przypuszczenie, że w próżni flogiston wydzielać się będzie szczególnie żywo. J. Rey we Francji, van Helmont w Holandii, J. Mayow i R. Hooke w Anglii i in. wskazywali, że produkty przy spaleniu metalu w powietrzu są cięższe niż pierwotny, niespalony metal, czyli że raczej przy spaleniu coś zostało z powietrza wchłonięte, niż wydzielone z metalu. Podobnie też stwierdzono doświadczalnie, że do oddychania potrzebne jest takie powietrze, jakie „powstaje przez rozkład saletry". Flogistoniści albo kategorycznie przeczyli prawdziwości tych doświadczeń i tych twierdzeń, albo też dawali zupełnie dowolne wyjaśnienia, traktując je jako pewniki nie wymagające sprawdzenia. Tak np. zjawisko zwiększania się ciężaru tlenków tłumaczyli tym, że flogiston jest odpychany od ziemi, a więc ma ciężar ujemny. W ówczesnych warunkach laboratoryjnych i doświadczalnych nikt nie był w stanie rozprawić się ostatecznie z podobnymi argumentami. Teoria flogistonowa będzie wciąż jeszcze miarodajna w chemii w ciągu wielu dziesięcioleci następnego okresu.

Na razie kończący się wiek XVII przekazuje historii nie tylko wiele konkretnych osiągnięć teoretycznych z zakresu chemii i wiele nowych definicji; nie tylko coraz głębiej i dokładniej uświadomioną potrzebę usamodzielnienia chemii opierającej się już na własnych, znacznych osiągnięciach naukowych i na zadzierżgniętych powiązaniach z fizyką i matematyką; nie tylko wyposażenie w nowe metody pracy, w nowe rozwiązania

[12] Lockemann G., *Geschichte der Chemie*, t. I., Göschen — Sammlung, Berlin 1950, str. 91.

technologiczne i w nową doskonalszą aparaturę, ale również wiele innych aktywów a przede wszystkim szereg czołowych osobistości, kadrę naukowców, badaczy, pisarzy i techników z ich ustalonymi poglądami, uzdolnieniami twórczymi, talentami dydaktycznymi i organizacyjnymi, z ich teoriami i doktrynami często słusznymi, postępowymi i torującymi drogę ku nowym zwycięstwom rozumu, a czasem błędnymi i opacznymi, które trzeba będzie w żmudnym, niewdzięcznym i długotrwałym wysiłku uzupełniać i prostować w niedalekiej przyszłości.

Rozdział V

Szturm naukowy na pozycje chemii spekulatywnej. Wiek XVIII

Decydująca przewaga nowych prądów w intelektualnym życiu świata dostrzegalna już była na każdym kroku. Slogan filozoficzny z przed kilku wieków głoszący, że władza człowieka równa jest jego wiedzy (*homo potest quantum scit*) stał się wyznaniem wiary dopiero w XVIII stuleciu. Okres ten podtrzymywał, kult zarówno rozumu, jak i władzy. Pod wpływem myśli i pism takich przodujących pisarzy i reformatorów, jak Montesquieu, Rousseau, Voltaire, Diderot, Quesnay, Turgot, Adam Smith, J. Locke, oraz dzieł i osiągnięć naukowców tak wysokiej miary, jak Newton, Pascal, Torricelli, Watt, Franklin, Cavendish, Priestley, Scheele, Łomonosow, Lavoisier, Galvani, Volta, Fahrenheit i legion innych, świat pojęciowy ludzi przekształcał się teraz z dziesięciolecia na dziesięciolecie. Każda nowa książka, każde poważne osiągnięcie naukowe i odkrycie znajdowało obecnie silny oddźwięk w społeczeństwie, stając się niezwłocznie zaczynem nowych badań i nowych podniet twórczych. Krytyka racjonalistyczna w stosunku do tradycyjnych autorytetów, konwencjonalnych pewników oraz do narzuconych dawniej dogmatów stawała się coraz powszechniejsza i coraz bardziej natarczywa; fala sprawdzalnych doświadczalnie dociekań rozumowych, fala badania przyczynowości zjawisk potężniała bez przerwy, obejmując swoim zasięgiem coraz to nowe dziedziny. Pęd ku wiedzy ścisłej, poszukującej gorliwie swego matematycznego wyrazu, podsycany przez krzewiącą się literaturę fachową, mnożące się czasopisma i kluby naukowe oraz żywą działalność encyklopedystów ogarniał coraz szersze warstwy społeczne.

W tej walce o postęp, o kult dla wiedzy ścisłej i panowanie rozumu sprawy chemii nie mogły oczywiście pozostać na uboczu. Ogólny dorobek chemii teoretycznej i chemii stosowanej ostatnich wieków był już dostatecznie silnym motorem, aby zapewnić dalszą ewolucję i dalszy postęp. Niemniej jednak chwilowo mogło się wydawać, szczególnie w pierwszej połowie XVIII w., że chemia nie dotrzyma kroku powszechnej dynamice rozwojowej, gdyż sama stworzyła taki system oporowy, który musi od-

działywać niekorzystnie na jej dalsze osiągnięcia naukowe. Tak np. opanowującą umysły teorię flogistonową, szczególnie z historycznego punktu widzenia, można ocenić jako poważny hamulec postępu. Ilekolwiek bowiem prawdziwych i pozytywnych wartości wtórnych kryłoby się nawet za tą teorią, to jednak nie można nie dostrzegać zawartego w niej bagażu pojęciowego, wywodzącego się z dawno przebrzmiałego już średniowiecza. Teoria Stahla podana na przełomie dwóch różnych epok, stała się, jeżeli nie syntezą zasadniczych i głębokich sprzeczności, to w każdym razie anachronizmem dorzucającym do każdej uncji racjonalizmu sporo alchemicznej metafizyki. Co gorzej, sam flogiston był pojęciem dość nieokreślonym. Ilościowo nikt nie usiłował ani go wyodrębnić, ani oznaczyć, gdyż badania tego typu zostały wówczas zaledwie zapoczątkowane. Jakościowo zaś różni wyznawcy teorii podstawiali różne konkrety pod to pojęcie. Dla jednych symbolem lub koncentratem flogistonu był węgiel drzewny, inni identyfikowali flogiston z siarką (J. H. Pott), inni wreszcie za flogiston poczytywali gazy palne, w szczególności wodór (H. Cavendish). Fizyk angielski J. J. Thomson wskazywał z naciskiem, że teoria naukowa może stać się bardzo pomocnym narzędziem pracy, ale nie może być wyznaniem wiary. Tymczasem dla wielu zwolenników teorii Stahla flogiston był wyznaniem wiary nawet wówczas, gdy odkryto już tlen i poznano procesy utleniania.

J. E. Stahl był niewątpliwie wybitnym naukowcem, profesorem i pisarzem, posiadającym na swoim rachunku m. in. poważne osiągnięcia w dziedzinie badań nad fermentami, procesami fermentacyjnymi oraz w dziedzinie pojęć o powinowactwie chemicznym; opracowana przez niego i ogłoszona pod koniec XVII w. teoria flogistonowa, rozwinięta w latach następnych i przyjęta za główny drogowskaz w jego książce z 1723 r. pt. *Fundamenta chymiae dogmaticae et experimentalis*, była od samego początku przedmiotem sprzecznych interpretacji naukowych, a sporadycznie i przedmiotem ostrej krytyki. Przez wiele lat miała ona jednak nie tylko licznych indywidualnych wyznawców i popleczników, lecz również i oficjalnych obrońców. Tym oficjalnym interpretatorem i obrońcą teorii flogistonowej była założona przez Stahla tzw. szkoła berlińska, której czołowymi przedstawicielami byli profesorowie K. Neumann (1683—1737) i J. H. Pott (1692—1777); szkoła ta rozprawiała się niejako z urzędu z wszelkimi ogłaszanymi zarzutami i wątpliwościami, powstającymi przy coraz dokładniejszych badaniach nad procesami spalania. Już uprzednio wspomniano o tym, jak interpretowała szkoła flogistyków obserwacje kilku uczonych, stwierdzających fakt zwiększania się ciężaru „spalonego" metalu.

Od połowy XVII w. mnożyły się wskazówki, a nawet fakty naukowe, wywołujące uzasadnione przypuszczenia, że procesy spalania polegają

na łączeniu się substancji palącej się z częścią powietrza. Później F. Hoffmann (1660—1742), początkowo osobisty przyjaciel i wyznawca nauki Stahla, ogłosił w 1730 r., że proces „odwapniania" zdeflogistowanych metali nie polega — jak głoszono — na odzyskaniu utraconego flogistonu, ale na odebraniu tej „zwapniałej substancji" szczególnego składnika, który nazwał solą kwasową, *sal acidum*. Tą rzekomą solą był oczywiście później odkryty pierwiastek *oxygenium* (kwasoród), czyli tlen. Ta obserwacja, w istocie rzeczy słuszna i prawidłowa, wywołała nie tylko ostre sprzeciwy oficjalnych obrońców teorii flogistonowej, ale nawet nadwyrężyła osobiste stosunki Hoffmanna ze Stahlem. Podobnie i opinia Scheelego, jednego z najznakomitszych chemików i eksperymentatorów ówczesnego świata, że przy spalaniu metali w powietrzu „saletrzanym" (w tlenie) powstają związki chemiczne między metalem i tym powietrzem, przebrzmiała jak wiele innych prawie bez echa. Teorii flogistonowej najkategoryczniej przeciwstawił się profesor chemii i mineralogii w Petersburgu, W. Łomonosow (1711—1765); twierdził on z przekonaniem, że przy spalaniu zużywa się część powietrza. Znaczna większość najwybitniejszych chemików tego wieku akceptowała jednak teorię Stahla, gdyż umożliwiała ona jednoznaczne wyjaśnienie wielu zjawisk i wprowadzała pewien formalny ład w obrębie chaotycznie potęgującej się ilości i jakości faktów oraz odkryć naukowych z zakresu chemii. Nawet tak znakomity badacz jak Henry Cavendish (1731—1810), który największe znaczenie przypisywał badaniom o charakterze ilościowym i przyjął jako naczelną zasadę, że wiedza wspiera się całkowicie na pomiarach, akceptował teorię Stahla i poczytywał tlen za resztkę wody, którą pozbawiono flogistonu. Również Scheele w swoich pracach teoretycznych był spętany przez teorię flogistonową, a w rezultacie niektóre z jego wniosków nie wytrzymały próby czasu, pomimo świetnej techniki eksperymentalnej tego uczonego. Wreszcie i Priestley — może na tle drażliwego sporu o pierwszeństwo odkrycia tlenu, jak sugerują niektórzy historycy — już po ogłoszeniu wyników badań Lavoisiera i po obaleniu samych założeń teorii flogistonowej na przełomie XVIII i XIX stulecia jeszcze raz podtrzymuje teorię Stahla jako naukowo uzasadnioną i słuszną.

Tak więc w ciągu 90 lat aż do ogłoszenia przełomowych prac Lavoisiera, wykazujących w sposób niezbity, że spalanie jest procesem wiązania się z tlenem, w którym nie wydziela się żaden flogiston, błędna teoria Stahla opierała się wszelkim atakom rozumu i doświadczenia. Można to chyba wyjaśnić tym, że sam przeskok od flogistonu do tlenu, od wydzielania nie rozpoznanej substancji do pochłaniania oznaczonej ilości tlenu, od czystej doktryny do wagi analitycznej był tak nieskończenie radykalny, wielki i rewolucyjny w swoich logicznych konsekwencjach, że nawet dowody bijące w oczy swoją oczywistością nie były w sta-

nie zadać miażdżącego ciosu tej teorii. P. WALDEN[1] sugeruje, że właśnie w alchemicznym osadzie leżała siła trwania tej teorii. Pisze on: „flogiston rozpatrywany jako pojęcie filozoficzne był czymś abstrakcyjnym i metafizycznym, tlen zaś sprowadzał całe, tak zagmatwane uprzednio zagadnienie spalania do prostej formuły ilościowej o charakterze na wskroś materialnym i racjonalistycznym". Tak więc pomiędzy hipotetycznym flogistonem, a uchwytnym i konkretnym tlenem leżała wielka przepaść, która mogła być tylko stopniowo zasypana i wyrównana.

Byłoby jednak dużym błędem, gdyby na podstawie dotychczasowych wywodów przypuścić, że rozprawa pomiędzy flogistonem, a utlenianiem wypełnia historię rozwoju chemii w ciągu XVIII wieku. Od pierwszych lat tego stulecia działały równocześnie jakby dwa różne mechanizmy ruchu: jeden napędzany flogistonem Stahla, ujawniając sporadycznie tendencje hamowania rozwoju nauk chemicznych, i drugi o stale wzrastającej mocy, włączony synchronicznie w ogólny nurt wielkiego postępu i wielkich zwycięstw racjonalizmu.

Przede wszystkim więc można zauważyć, że drogowskazy ustawione ręką R. BOYLE'A w ubiegłym wieku i wskazujące określone kierunki rozwojowe zachowały całe swoje znaczenie również w XVIII w. Z punktu widzenia merytorycznego BOYLE w swoich pionierskich pracach położył szczególny nacisk na wszechstronną rozbudowę analizy chemicznej i na zagadnienia związane z budową strukturalną materii — zaś z punktu widzenia metodologicznego opierał się na badaniach sprawdzalnych doświadczalnie. Wszystkie te tendencje przejawiły się właśnie ze zwiększoną mocą w wieku XVIII.

Prawie wszyscy najwybitniejsi chemicy i fizycy tego okresu zajmowali się badaniem gazów. Szereg ten rozpoczyna CAVENDISH (1731—1810), wybitny fizyk, matematyk i chemik angielski, materialnie całkowicie niezależny i obracający wszystkie swoje — wcale znaczne — dochody na cele naukowe i humanitarne. Skala jego zainteresowań naukowych była bardzo szeroka. Tak np. z zakresu fizyki badał, zdefiniował i wyjaśnił zjawiska utajonego ciepła topnienia i parowania oraz ciepła właściwego, które oznaczył dla licznych substancji chemicznych. Badał też właściwości wielu związków, w szczególności soli arsenu. Ale głównym tematem działalności naukowej CAVENDISHA była chemia i fizyka gazów. Po zastosowaniu metod ilościowych i po udoskonaleniu sposobu ważenia gazów, stwierdził on w 1766 r. — wbrew panującym wówczas poglądom — istnienie różnych chemicznie gazów. W dalszych pracach skierował swoją uwagę głównie na trzy substancje gazowe: powietrze oraz jego składniki,

[1] WALDEN P., *Chronologische Übersichtstabellen zur Geschichte der Chemie*, Springer Verlag, Berlin 1952, str. 27.

dwutlenek węgla nazwany przez CAVENDISHA powietrzem „zestalonym", a wreszcie na wodór tworzący się przy rozpuszczaniu metali w kwasach, a poczytywany bądź to za flogiston, bądź też za związek flogistonu i nazywany powietrzem „palnym". Uczony ten ustalił z dużą dokładnością względną gęstość tych gazów w stosunku do gęstości powietrza oznaczonej jako równe 1. Równocześnie badał gaz pozostający po przeprowadzeniu powietrza nad rozżarzonym węglem i przez roztwór ługu żrącego w celu pochłonięcia utworzonego dwutlenku węgla. W ten sposób został odkryty azot, gaz, który wygasza płomień, nie podtrzymuje życia i dlatego nazwany z grecka *a-zoot*. Ponieważ jednak CAVENDISH wyników swoich badań często nie ogłaszał, przeto formalne odkrycie azotu wiąże się zwykle z nieco późniejszymi pracami D. RUTHERFORDA (1749—1819). W latach siedemdziesiątych XVIII w. po odkryciu tlenu przez SCHEELEGO i PRIESTLEY'A CAVENDISH podjął wnikliwe i długotrwałe badania dotyczące powietrza, których końcowym rezultatem było studium pt. *Experiments on Air* (1784—1785). Stwierdził on nowy dla nauki fakt, że skład powietrza jest wszędzie i zawsze niezmienny i podał pierwszą dokładniejszą analizę powietrza zawierającego 79,17% obj. azotu i 20,83% obj. tlenu. Ponadto ustalił, że przy spalaniu substancji organicznych w powietrzu tworzy się „powietrze zestalone", gdy natomiast przy spalaniu np. siarki nie powstaje ani dwutlenek węgla, ani kwas azotowy. Z punktu widzenia teorii flogistonowej wszystkie te zjawiska i stwierdzenia musiały budzić zastrzeżenia i wątpliwości. CAVENDISH posuwając podjęte badania dalej doszedł do stwierdzenia szczególnego zjawiska, wyjaśnionego i ocenionego w całej rozciągłości dopiero w czasach ostatnich. Mianowicie w 1785 r. zauważył on, że w powietrzu albo w mieszaninie azotu i tlenu pod wpływem wyładowań elektrycznych w ciągu dłuższego czasu powstają tlenki azotu lub przy obecności wody — kwas azotowy. Doprowadzając wciąż nadmiar tlenu można było przetworzyć prawie całą zawartość azotu, tj. związać ją z tlenem. Tylko bardzo mała część gazu, mianowicie około jednej sto dwudziestej początkowej ilości, zachowywała się całkowicie obojętnie, nie reagując z tlenem. Po upływie przeszło stu lat wykryto, że szło wówczas o argon (odkryty w 1894 r.) i inne tzw. gazy szlachetne. Niemniej doniosłe znaczenie miały podstawowe badania CAVENDISHA nad chemicznym składem wody.

Zupełnie niezwykłą osobistością, przypadkowo związaną z chemią, jest JÓZEF PRIESTLEY (1733—1804), poliglota i nauczyciel języków obcych teolog i proboszcz wiejski, rolnik i farmer w Ameryce, który przez wiele lat nie mógł ustalić swojej linii życiowej. Ale gdy zetknął się przypadkowo z chemią na wykładzie naukowym, został z miejsca i bez reszty wchłonięty przez tę problematykę. Po upływie kilku zaledwie lat PRIESTLEY zasłynął jako wybitny i twórczy umysł, który rozwinął wszechstronnie che-

mię gazów. Odkrył on interesujące i ważne zjawisko, że rośliny w procesie wegetacyjnym wydzielają gaz podtrzymujący palenie i oddychanie. W 1774 r, tj. w trzy lata po odkryciu Scheelego, ale niezależnie od niego, Priestley izolował i identyfikował tlen uzyskany z rozkładu tlenku rtęci i określił główne jego własności. Następnie odkrył szereg innych, dotychczas nieznanych gazów, które w przyszłości zyskały wielkie znaczenie przemysłowe; był to chlorowodór i dwutlenek siarki, amoniak gazowy, uzyskiwany przy rozkładzie salmiaku wapnem palonym i nazwany powietrzem „alkalicznym", a wreszcie w 1799 r. trujący tlenek węgla. Tak więc dawny pogląd o istnieniu tylko jednego gazu różnie zanieczyczczonego został definitywnie obalony.

Nowym i wysoce pozytywnym przejawem było również to, że w owym okresie następuje znaczne rozprzestrzenienie nauk chemicznych w świecie. Z pracowni holenderskich, szwedzkich, rosyjskich i in. docierają coraz częściej ważne wiadomości o samodzielnych odkryciach i osiągnięciach naukowych, o powstawaniu nowych katedr i pracowni chemicznych itd.

Karol Wilhelm Scheele

Tak zapisuje w Szwecji swój rozdział wspaniałych osiągnięć i fundamentalnych odkryć Karol Wilhelm Scheele (1742—1786) jeden z najpłodniejszych umysłów twórczych XVIII stulecia. Ten samouk praktykujący, eksperymentujący i zdobywający laury naukowe w aptekach szwedzkich, przebijał się przez życie z największymi trudnościami, pracując bez wytchnienia nad zagadnieniami chemicznymi, poza którymi świat dla niego nie istniał. W latach siedemdziesiątych tego wieku sława

jego prac doświadczalnych była już tak wielka, że został powołany na członka Szwedzkiej Akademii Nauk i odtąd mógł bez trudu uzyskać najpoważniejsze stanowiska i najzaszczytniejsze tytuły naukowe. Nie miało to dla niego żadnego znaczenia. W lecie 1775 r. Scheele przeniósł się do prowincjonalnego miasta Köping, gdzie niebawem nabył aptekę, przy której urządził własną pracownię naukową. Żył stosunkowo krótko, ale całe życie wypełnił niezmordowaną, twórczą pracą. Posiadając wrodzony instynkt eksperymentatorski dokonał w swoim małym i prymitywnym laboratorium tyle odkryć i prac badawczych, że byłyby one normalnie bogatym dorobkiem nawet kilku uczonych. Ok. 1773 r. miał już opracowane dzieło o odkryciu tlenu, którego dokonał w 1771 r. Zarówno w zakresie chemii ogólnej, jak i chemii gazów odkrycie to miało wówczas znaczenie zupełnie zasadnicze. Ale rękopis tej rozprawy pt. *Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer* przetrzymał wydawca aż do 1777 r., a tymczasem już w 1774 r. Priestley ogłosił swoje sprawozdanie o odkryciu tlenu, zaś Lavoisier dnia 26.IV.1775 r. wygłosił w paryskiej Akademii swój słynny później wykład o tlenie i o procesach spalania. Niemniej jednak potomni uznali zasługę pionierskiego odkrycia dokonanego przez Scheelego. W krótkim stosunkowo okresie w latach 1769—1786 Scheele wydzielił i zidentyfikował wiele dotychczas nieznanych kwasów organicznych, jak kwas winowy, cytrynowy, jabłkowy, galusowy, benzoesowy, szczawiowy, mlekowy i moczowy. Nie mniejsze są osiągnięcia tego badacza w zakresie chemii nieorganicznej. Rozkładając siarczki metali kwasami mineralnymi wytworzył siarkowodór jeden z ważniejszych odczynników analitycznych; zbadał dokładniej kwas arsenowy i arsenowodór oraz zapoczątkował studia nad związkami molibdenu, wolframu, baru i manganu, a z kwasu solnego przy współdziałaniu dwutlenku manganu wyodrębnił „odflogistowany kwas", tj. gazowy chlor, którego nazwę i pierwiastkowy charakter ustalił dopiero Davy w 1810 r. Nie wyliczając dokładnie różnorodnych prac i odkryć Scheelego można podkreślić, że dzięki epokowym pracom tego tak wnikliwego umysłu nauka chemii została poważnie i wszechstronnie wzbogacona.

Wybitne osiągnięcia zanotowano w XVIII w. również w dziedzinie analizy chemicznej, zapoczątkowanej przez Libaviusa, a ugruntowanej przez Boyle'a. W tym czasie opracowano wiele nowych, czasem wprost klasycznych metod, skierowano uwagę na znaczenie badań ilościowych, zastosowano nowe odczynniki i nowe aparaty, tworząc stopniowo zwarty i jednolity schemat badań analitycznych dla chemii nieorganicznej. Głównymi pionierami tych prac byli: T. Bergman (1735—1784), A. Marggraf (1709—1782), J. Black (1728—1799) i in. Szwed Bergman, profesor uniwersytetu w Upsali, wskazał jak ważne wnioski praktyczne można wyciągać z oznaczeń analitycznych. J. Black profesor chemii w Glasgow

i w Edynburgu, który m. in. wyjaśnił naukowo przebieg procesu wypalania wapna i oznaczył ciężar cząsteczkowy dwutlenku węgla, kładł szczególny nacisk na analizę ilościową. Wspomniany poprzednio Fr. Hoffmann wsławił się głównie badaniem składu chemicznego różnych naturalnych wód mineralnych. Największe jednak zasługi w dziedzinie chemii analitycznej ma w tym czasie wybitny technolog i poważny badacz naukowy A. Z. Marggraf. W 1757 r. wytworzył on chlorek platynawy i za pomocą tego odczynnika przeprowadził jeden z najtrudniejszych wówczas zabiegów analitycznych, tj. rozdzielenie soli potasowych od soli sodowych. Wykonał też wiele analiz jakościowych szeregu minerałów i niektórych surowców chemicznych, jak gips, oraz pierwszy wykorzystał do celów analizy jakościowej zdolność zabarwiania płomienia przez różne sole.

W dziedzinie chemii ogólnej i technicznej we wczesnych latach XVIII w. poważną rolę odegrał wybitny fizyko-chemik rosyjski Michał W. Łomonosow (1711—1765). On to sformułował prawo zachowania masy, położył ponownie nacisk na znaczenie teori atomowej, dał definicję atomu i wyjaśnił — odmiennie od przyjętej powszechnie doktryny flogistonowej — mechanizm procesów spalania, rdzewienia itp. W pracy zaś pt. „Rozmyślania o przyczynie ciepła i zimna (1747 r.) analizował nie tylko zjawisko przewodzenia ciepła, ale ponadto — już wówczas — wypowiedział przypuszczenie co do istnienia dolnej granicy temperatur. Niemałą zasługą Łomonosowa jest też stworzenie w ramach Akademii petersburskiej pierwszej w Rosji wzorowej pracowni chemicznej, z której wyszło wielu wartościowych chemików, oraz opracowanie pierwszego w języku rosyjskim dzieła o metalurgii. Łomonosow współdziałał również w uruchomieniu niektórych zakładów przetwórczo-chemicznych w Rosji.

Już z dotychczasowego przeglądu można wnioskować, że tak znaczne i wszechstronne pogłębienie oraz rozszerzenie tematyki chemicznej musiało wywołać szereg poważnych i pozytywnych skutków. Każde nowe osiągnięcie stawało się niezwłocznie podnietą uruchamiającą łańcuchy nowych faktów technicznych lub naukowych. W ten sposób obok znacznego dorobku pisarskiego i publicystycznego z zakresu chemii oraz spotęgowania tendencji emancypacyjnych chemii jako samodzielnej dyscypliny naukowej można w tym okresie stwierdzić lawinowy proces nieustannego rozwoju chemii teoretycznej i chemii przemysłowej w skali, jaka w przeszłości była zupełnie nieosiągalna.

Tak więc w Holandii dużym autorytetem cieszy się H. Boerhaave (1664—1734) lekarz światowej sławy, chemik i profesor w Leyden, encyklopedysta wiedzy przyrodniczej, który z wielkim zapałem i uporem oczyszczał naukę chemii z pozostałości alchemicznych; jego dwutomowe

dzieło *Elementa Chemiae* odznaczające się szczególną jasnością i logiką wykładu oraz rozległymi horyzontami ujęć naukowych, było tłumaczone na języki angielski, francuski oraz niemiecki i szeroko rozprowadzone w Europie zachodniej. Mówiono o nim, że chemią zajmował się bez wytchnienia (*chemiam dies noctesque exercuit*), jedną zaś z ważnych nowości wprowadzonych przez niego była nauka o roztworach. W 1749 r. P. Macquer (1718—1784) ogłosił dzieło *Eléments de Chimie Théorique* i w dwa lata później *Eléments de Chimie Pratique*, przyczyniając się wszechstronnie i walnie do emancypacji nauk chemicznych. W drugiej połowie tego wieku dochodzą do rąk zainteresowanych chemików wyczerpujące i fundamentalne publikacje naukowe, świadczące o dokonanym już wyodrębnieniu tematyki chemicznej spośród nauk przyrodniczych. Do tej grupy publikacji należy sześciotomowe dzieło Priestleya o gazach (1774—1786), liczne pisma K. W. Scheelego, Marggrafa (*Chymische Schriften*), wspomniane już publikacje Cavendisha, dopiero obecnie oceniona w całej pełni książka C. F. Wenzela *Die Lehre von der chemischen Verwandschaft der Körper* (1777), a przede wszystkim 6-tomowe *Oeuvres* (1770—1788) Lavoisiera. Pod koniec tego wieku poczynają również ukazywać się fachowe periodyki, jak *Journal de Physique*, założone w 1784 r. przez Leopolda Crella *Annalen der Chemie* albo *Annales de Chimie* powołane do życia w 1789 r, przez Lavoisiera, de Morveau, Bertholleta i Fourcroya.

Tym przejawom pisarskim towarzyszy równocześnie lawina odkryć naukowych i prawdziwy szturm nowości technologicznych, które przynajmniej częściowo znajdują niezwłocznie praktyczne zastosowanie. Na każdym polu działalności chemicznej rysuje się wyraźny postęp i rozwój. Oto w 1702 r. W. Homberg wyodrębnia kwas borowy; Diesbach i Dippel odkrywają przypadkowo w 1704 r. reakcję tworzenia się błękitu berlińskiego. Z punktu widzenia zainteresowań przemysłowych bardzo ważne jest odkrycie, dokonane w 1708 r. przez J. Fr. Böttgera, metody wytwarzania porcelany, stosowanej później w słynnej wytwórni w Miśni. W latach dwudziestych tego wieku Stahl odkrywa tak szeroko eksploatowaną w przemyśle reakcję wydzielania wolnego kwasu octowego, rozkładając octany kwasem siarkowym. W tym samym dziesięcioleciu C. F. Woodward opracował sposób technicznej produkcji błękitu berlińskiego (1724 r.), który w 30 lat później udoskonalił i uprościł Macquer. W 1736 r. H. L. Duhamel de Monceau (1700—1781) przeprowadził pierwszą próbę techniczną wytwarzania sody, co prawda bez praktycznego rezultatu. Jednakże to ważkie zagadnienie zostało w ten sposób postawione na porządku dziennym. W latach czterdziestych Pott wykazał błędność przekazywanego jeszcze od czasów Pliniusa twierdzenia jakoby dwutlenek manganu był związkiem żelaza, zaś A. Z. Marggraf dokonał w tym

czasie wielu znakomitych odkryć o wielkiej praktycznej doniosłości. Ulepszył on metodę wytwarzania fosforu i wykazał, że przy spalaniu tworzy on produkt cięższy od materiału wyjściowego, który reagując z wodą daje kwas ortofosforowy. W 1746 r. Marggraf opracowuje sposób wytwarzania cynku z galmanu i węgla, prażąc mieszaninę bez dostępu powietrza, a w roku następnym konstatuje obecność cukru trzcinowego w burakach. I to odkrycie stanie się niebawem podstawą potężnego rozwoju przemysłu cukrowniczego.

Podstawy, na których buduje wówczas chemia, wzmacniają się coraz bardziej z upływem każdego dalszego dziesięciolecia. To, że francuska Akademia Nauk ogłosiła w 1760 r. konkurs na opracowanie odpowiedzi na pytanie: jakie byłyby najskuteczniejsze sposoby doprowadzenia przemysłu szklanego we Francji do pełnego rozkwitu? — nie jest może samo przez się faktem o większym znaczeniu ale jest nim to, że nagrodę otrzymał lekarz, chemik i technolog z Langwedocji Paweł Bosc d'Antic, który jako jeden z pierwszych z wielką siłą przekonania głosił zasadę, iż nie ma pewniejszej drogi do ugruntowania rozwoju jakiejkolwiek z gałęzi przemysłu chemicznego, jak przyswojenie przez technologię najnowszych zdobyczy naukowych z zakresu chemii i fizyki[2]. Ta zasobna w ważkie konsekwencje myśl przenika odtąd w różnych krajach z różną szybkością do świadomości publicznej.

Dwa wielkie odkrycia wnoszą do bilansu postępu w drugiej połowie XVIII w. Marggraf i Cavendish. Pierwszy stwierdza analitycznie obecność soli potasowych w roślinach, drugi w 1766 r. identyfikuje „palne powietrze" jako wodór i ustala cechy fizyczne oraz chemiczne tego gazu. Na ten sam okres przypada początek twórczej działalności naukowo-odkrywczej Scheelego. Przede wszystkim więc wyodrębnił on tzw. „powietrze saletrzane" (tlen) i stwierdził, że np. żarzący się węgiel płonie w nim gwałtownie, rozpalając się do białości. Scheele ustala następnie, że istnieją różne stopnie „zdeflogistowania" (utlenienia) takich metali, jak miedź czy żelazo, odkrywa jak wspomniano szereg kwasów organicznych, cyjanowodór, glicerynę, chlor oraz ważne zjawisko adsorpcji gazów na węglu drzewnym. Wielkim choć nie uświadomionym co do konsekwencji osiągnięciem Scheelego było pierwsze katalityczne zestryfikowanie kwasu octowego i benzoesowego alkoholami wobec kwasów mineralnych oraz odkrycie zjawiska rozkładu i czernienia chlorku srebra pod działaniem promieni fioletowych.

W latach 1730—1770 r. izolowano i oznaczono podstawowe właściwości arsenu, kobaltu, cynku, platyny (odkrycia C. Wooda i W. Watsona

[2] Ganzenmüller W., *Beiträge zur Geschichte der Technologie u. Alchemie*, Verlag-Chemie, Weinheim 1956, str. 56.

w 1750 r.), niklu i molibdenu. Scheele zaś w wyniku badań wyraził w 1774 r. przypuszczenie, że brunatniak (braunsztyn) zawiera nowy, nie rozpoznany dotąd metal; istotnie jeszcze w tym samym roku wyodrębniony został przez Gahna ten nowy metal, nazwany manganem. W latach osiemdziesiątych tego wieku T. Bergman sprostował wszystkie błędne dane o bizmucie, wydzielił go w postaci metalicznej i dokładnie scharakteryzował, zaś bracia J. i F. d'Elhuyar w Hiszpanii otrzymali po raz pierwszy metaliczny wolfram. Tak więc po wielowiekowym zastoju datującym się jeszcze od zmierzchu starożytności również chemia metali posunęła się teraz poważnie naprzód.

Ale i w innych dziedzinach chemii przejawiała się obecnie bardzo żywa działalność. W 1771 r. wytworzono laboratoryjnie nitropochodną fenolu, kwas pikrynowy; w latach 1774—75 Priestley wyodrębnił i scharakteryzował z punktu widzenia fizycznego i chemicznego gazowy amoniak i dwutlenek siarki oraz niezależnie od Scheelego odkrył tlen; Scheele zaś wytworzył roztwór cyjanowodoru, którego skład chemiczny oznaczył w 1782 r. Berthollet.

Najważniejsze może jest jednak to, że w końcowym okresie tego wieku chemia zdołała z miejsca przyswoić sobie i wykorzystać nowy czynnik, który w dalszej perspektywie nie tylko rozszerzył niepomiernie zakres i skuteczność badań chemicznych, lecz również stał się zaczynem potężnych rozwiązań przemysłowych w przyszłości. Tym czynnikiem była odkryta niedawno energia elektryczna, posiadająca dla przełomu wieków XVIII i XIX podobne znaczenie, jak odkrycie energii atomowej dla wieku XX. Gdy więc ukazała się notatka informacyjna o tym, że przy eksplozji mieszaniny „palnego powietrza", czyli wodoru ze zwykłym powietrzem, a wywołanej iskrą elektryczną pojawiają się krople rosy, Cavendish podjął w latach osiemdziesiątych XVIII w. wnikliwe badania uwieńczone ostatecznie dokonaniem syntezy wody z pierwiastków. Wykazał on mianowicie, że woda wbrew ustalonemu od czasów najdawniejszych mniemaniu wcale nie jest pierwiastkiem, lecz składa się z wodoru i tlenu, przy czym 2 objętości wodoru wiążą się bez reszty z jedną objętością tlenu na wodę. To przełomowe doświadczenie Cavendisha zostało w parę lat później uzupełnione i potwierdzone przez chemików holenderskich Paetsa van Troostwyka i Deimanna (1789 r.), którzy rozłożyli wodę prądem elektrycznym i otrzymali ustalone przez Cavendisha ilości wodoru i tlenu. Nieco wcześniej, bo w 1784 r., Berthollet oznaczył ilościowo składniki gazowe, na które rozpada się amoniak pod wpływem wyładowań elektrycznych. Zapoczątkowana przez Boyle'a chemia gazów rozporządzała na początku XVIII w. niezwykle skromnym i prymitywnym materiałem naukowym, poczytując wszystkie substancje gazowe za od-

mianę powietrza; pod koniec tego wieku znano zarówno szereg gazów elementarnych, jak i złożonych. Umiano też wytwarzać je w znaczniejszych ilościach. Pewnego rodzaju wyrazem rozwoju techniki gazowej był wzlot pierwszego napełnionego wodorem balonu dnia 27 sierpnia 1783 r. w Paryżu.

Sumując tę część osiągnięć XVIII w. można objektywnie skonstatować że dawny porządek rzeczy odwrócił się całkowicie: poczęły się tworzyć pierwsze — jeszcze dość luźne — powiązania między nauką ścisłą i praktyką przemysłową, a wiedza teoretyczna wyprzedzała teraz o duży skok chemię stosowaną. Równocześnie nauka stawała się nie tylko krytykiem dokonań technologicznych, lecz przede wszystkim motorem i siłą pociągową rodzącego się przemysłu chemicznego. Pełne konsekwencje tego doniosłego faktu przejawią się oczywiście dopiero w czasach późniejszych. Jednak i w tym okresie produkcja chemiczna zmieniła zasadniczo swoją pozycję w stosunku do innych dziedzin wytwórczości: wyszła z małych, czasem wędrownych zakładów rzemieślniczych, z pracowni typu alchemicznego czy też aptecznego i poczęła zwolna przekształcać się w produkcję fabryczną. Produkcja ta dysponowała już nowymi surowcami, udoskonalonymi metodami pracy i stwarzała nowe potrzeby rynkowe; wzrastała ilościowo i jakościowo.

Klasycznym przykładem takiej ewolucji była produkcja kwasu siarkowego. Stężony, dymiący kwas siarkowy wytwarzano początkowo w Nordhausen w Saksonii i nazwano go nordhauseńskim. Małe, dość liczne wytwórnie kwasu, istniejące na początku XVII w. w Saksonii i w Czechach uległy doszczętnemu zniszczeniu w czasie wojny 30-letniej. Ponowne ożywienie produkcji kwasu przejawiło się dopiero ok. połowy XVIII w. gdy odkryto, że indygo zadawane stężonym kwasem siarkowym daje dobry niebieski barwnik do wełny. W połowie XVIII w. nastąpił w tej dziedzinie wielki przełom technologiczny, związany głównie z wprowadzeniem komór ołowianych, skonstruowanych w 1746 r. i zastosowanych przemysłowo przez Johna Roebucka. Wynalazek ten przyczynił się też w znacznym stopniu do ugruntowania nowej metody produkcji kwasu. Polegała ona na spalaniu rodzimej siarki zmieszanej w stosunku 7:1 z saletrą potasową w celu ułatwienia utleniania dwutlenku siarki do trójtlenku początkowo w naczyniach fajansowych lub w wielkich butlach szklanych, a później w komorach ołowianych. W ten sposób dokonało się pierwsze przesunięcie wytwórczości chemicznej z laboratorium do prawdziwych instalacji fabrycznych, umożliwiających oczywiście również bardzo znaczne obniżenie kosztu własnego produkcji. Ten lukratywny proceder usiłowano początkowo w Anglii utrzymać w ścisłej tajemnicy; to się jednak nie udało, zwłaszcza wobec tendencji rozwojowych tej produkcji. Już pod koniec pierwszej połowy tego wieku obok kilku

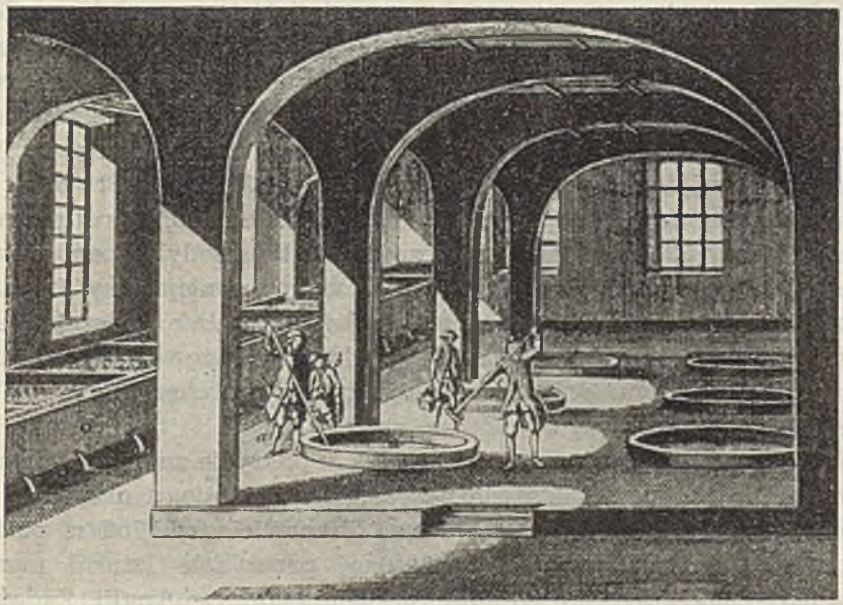
drobnych wytwórni większą fabrykę kwasu siarkowego założono w Richmond koło Londynu. W 1749 r. powstała nowa wytwórnia firmy Roebuck i Garbett w Szkocji, która pod koniec wieku dysponowała komorami o łącznej pojemności ponad 1700 m^3. Niebawem uruchomiono kilka innych fabryk kwasu w Anglii, pracujących systemem komorowym, a w tym dużą wytwórnię w Birmingham. We Francji w latach sześćdziesiątych XVIII w. wyznaczono nagrodę pieniężną dla fachowca, który by nauczył tajników dotyczących produkcji kwasu metodą komorową. Bezpośrednio nikt nie zgłosił się na ten apel, ale ok. 1780 r. czynnych już było we Francji 5 fabryk kwasu komorowego, w tym fabryka w Lille zaliczana do bardzo dużych, gdyż jej roczna wytwórczość miała dochodzić do 44 ton. Również w Saksonii pracowało ponownie ok. 30 małych wytwórni kwasu z średnią produkcją ok. 2 t kwasu na wytwórnię rocznie, a w Czechach fabrykowano w tym czasie sumarycznie ok. 4 t kwasu rocznie. Dość znaczna wytwórnia istniała w Jeleniej Górze zaopatrując w kwas głogowskie fabryki włókiennicze i farbiarnie. Podobna fabryka powstała także we Wrocławiu[3].

Zastosowanie komór ołowianych i nowej metody przetwórczej było niewątpliwie dużym postępem w stosunku do przeszłości. Tym niemniej ten proces okresowy był bardzo powolny i uciążliwy. Cykl przetwórczy, wielokrotnego spalania siarki i absorbowania trójtlenku, prowadzący do otrzymania produktu o stężeniu dochodzącym do 60% trwał nawet do 4 tygodni. Z upływem czasu opanowano technologię stężania kwasu komorowego w panwiach ołowianych lub w retortach szklanych, a od 1840 r. również w kociołkach platynowych; w ten sposób wytwarzano „witryol dymiący" o zawartości do 92% kwasu siarkowego. W Anglii, gdzie fabrykacja kwasu została początkowo najsilniej rozwinięta, tona kwasu komorowego kosztowała w tym czasie 35—37 funtów szterlingów. W ostatnich dziesięcioleciach XVIII w. wprowadzono kilka dalszych ulepszeń; w 1774 r. de la Follie wprowadził podmuch parowy do komory, przyspieszając znacznie proces absorpcji, w 1793 r. Francuzi Clement i Désormes zastosowali wdmuchiwanie do komory dodatkowej ilości powietrza niezbędnego do utleniania dwutlenku siarki, zaś od 1800 r. instalację do spalania siarki i wytwarzania dwutlenku przeniesiono na zewnątrz komory. Wreszcie warto zwrócić uwagę na znamienne zjawisko, że niebawem w ramach organizacji fabrycznych stwarzanych do wyrobu kwasu siarkowego zaczęły powstawać i rozwijać się i inne działy wytwórczości chemicznej.

Impulsy rozwojowe w zakresie wytwórczości sody i potażu przyszły również od strony nagłego wzrostu zapotrzebowania; szybki bowiem roz-

[3] Haber L. F., *The Chemical Industry during the Nineteenth Century, Claredon* .... Press, London-Oxford 1958.

kwit produkcji włókienniczej, a także szkła oraz warzelni mydła wywołał już na początku XVIII w. przejawy krytycznej sytuacji w zakresie zaopatrzenia tych przemysłów w tak podstawowy materiał pomocniczy, jak soda i potaż. Tradycyjnym źródłem tych surowców, a raczej ich namiastką był popiół drzewny. W połowie tego wieku cena popiołu zaczęła



Fabryka mydła w XVIII w.

szybko wzrastać. Tak np. w latach czterdziestych XVIII w. płacono w Szkocji za tonę ok. 16 funtów szterlingów; w następnym dziesięcioleciu cena podskoczyła już do 25 funtów szterlingów. Dostawy popiołu były też bardzo nieregularne. Zdobycie większej ilości „trony egipskiej"* było zadaniem dość trudnym, a ceny jej były wygórowane. Technologia „sodowa" poczyniła w tym czasie niemałe postępy. Węglan sodowy, czyli tzw. wówczas „sól łagodną" umiano już kaustyfikować, zaś w 1756 r. Black wykazał, że działając dwutlenkiem węgla na sodę żrącą odzyskuje się sól łagodną, a więc węglan sodowy. Toteż przy nieustannym rozwoju zapotrzebowania zarówno na sól łagodną, jak i na sodę żrącą podejmowano od 1730 r. rozliczne próby sztucznego wytwarzania sody, głównie z soli glauberskiej. Na razie nie znaleziono praktycznego rozwiązania a dodatkowym hamulcem było silne opodatkowanie soli kuchennej przez państwa zachodnie, przede wszystkim przez Anglię. Sytuacja stawała się coraz bardziej trudna. W związku z tym Francuska Akademia Nauk

* Skład chemiczny „trony": $NaHCO_3 \cdot Na_2CO_3 \cdot 2H_2O$.

w 1775 r. ogłosiła apel wzywający do opracowania praktycznej metody przemysłowego otrzymywania sody w dużych ilościach, wyznaczając dla odkrywcy nagrodę w wysokości 12 tys. liwrów. Choć zgłoszono wiele pomysłów, żaden z nich nie nadawał się do realizacji w skali fabrycznej; nagrody nie przyznano więc nikomu. Dopiero w latach 1784—1789 Mikołaj Leblanc (1742—1806), nadworny lekarz księcia Orleańskiego, wykorzystując rozumnie pomysły swoich poprzedników, opracował metodę polegającą na prażeniu siarczanu sodowego w obecności węgla drzewnego i rozdrobnionego kamienia wapiennego. Tak powstał jeden z pierwszych naukowo opracowanych procesów technologicznych, zastosowanych w praktyce przemysłowej. Leblanc opatentował tę metodę i przy finansowej pomocy ks. Orleańskiego uruchomił w 1791 r. w St. Denis wytwórnię pod nazwą: Fabrique de Soude de Nic. Leblanc, której produkcję doprowadził do 320 t w stosunku rocznym. Za tonę sody płacono wówczas ok. 60 funtów szterlingów. O żałosnym epilogu inicjatywy Leblanca w okresie rewolucyjnym poinformowano już poprzednio. Niemniej jednak w okresie następnym metoda Leblanca doczekała się wielkiego triumfu, przyczyniając się poważnie do rozwoju przemysłu chemicznego w XIX stuleciu.

Na ten sam mniej więcej okres przypada odkrycie zapraw hydraulicznych; drobny przypadek stał się przyczyną powstania, a następnie i potężnego rozwoju produkcji cementów. Mianowicie w 1756 r. powzięta została decyzja odbudowania zniszczonej przez fale latarni morskiej w Kanale, znajdującej się na skale przy Eddyston w Anglii. Zadanie to zostało powierzone budowniczemu Smeatonowi i chemikowi Cookworthy'emu. Przygotowując się do wykonania zlecenia stwierdzili oni, że wapniak zmieszany z marglem iłowym po wyprażeniu daje materiał wiążący o własnościach hydraulicznych. Pomysł ten zastosowali oni z pełnym powodzeniem przy remoncie latarni, narażonej na ciągłe działanie wody morskiej. Korzystając z tego doświadczenia Parker opatentował w 1796 r. sposób wytwarzania cementu powstającego przez wyprażenie specjalnego wapienia zawierającego iły.

Niemałym osiągnięciem technologicznym tego stulecia było również odkrycie metody i rozwój produkcji porcelany i barwnych fajansów w Europie. Trzeba zaznaczyć, że wyroby porcelanowe, znane i stosowane od dawna w Chinach i w Japonii, były sprowadzane w dużych ilościach do Europy. Liczne próby usamodzielnienia się w tym zakresie zawodziły przez czas dłuższy. Odkrycia dokonał wreszcie Jan Fryderyk Böttger (1682—1719), alchemik, który po nieudanych próbach z „kamieniem filozoficznym" uciekł z Berlina do Saksonii. Ale i tu początkowo szczęście mu nie sprzyjało. Został przychwycony przez funkcjonariuszy Augusta Mocnego i osadzony w twierdzy Königstein, z poleceniem wytwarzania

tak potrzebnego królowi polskiemu i saskiemu złota. Po pewnym czasie wydostał się jednak do Drezna, gdzie znalazł zajęcie laboranta u profesora Tschirnhausa, badacza technologii szkła i porcelany. Tu właśnie z kaolinu i skalenia pechowy alchemik, a równocześnie obdarzony instynktem twórczym chemik Böttger w 1709 r. wytworzył po raz pierwszy w Europie porcelanę. W roku następnym uruchomiona została w Miśni w Saksonii pierwsza fabryka porcelany, której Böttger stał się kierownikiem, zachowując tę funkcję aż do śmierci. Powodzenie fabryki w Miśni wywołało zarówno zainteresowanie samą metodą, utrzymywaną początkowo w ścisłej tajemnicy, jak i tendencje konkurencyjne, a nawet zawiści innych władców i państw. W tej sprawie szczególną aktywność przejawił król pruski Fryderyk II, zlecając J. H. Pottowi znalezienie metody wytwarzania porcelany na wzór fabryki miśnieńskiej. Bardzo wnikliwe badania i długotrwałe wysiłki Potta nie przyniosły jednak spodziewanego rezultatu, gdyż nie miał on w ręku podstawowego surowca, tj. kaolinu. Stopniowo jednak technika i sztuka wytwarzania białej porcelany przedostała się do innych krajów. Kolejno więc powstały słynne później fabryki porcelany w Wiedniu (1720 r.), w Höchst (1740 r.), w Berlinie i w Petersburgu (1750 r.), w Nymphenburgu pod Monachium (1758 r.) i w Kopenhadze (1772 r.).

W dziedzinie wyrobów fajansowych mistrzem światowej sławy stał się J. Wedgwood (1730—1795), Anglik, kierownik wytwórni w okręgu Potteries. W 1759 r. wynalazł on białe tworzywa do wyrobu naczyń fajansowych; do przygotowywania polew zastosował zaś takie kombinacje tlenków metali i innych soli, że w rezultacie uzyskiwał wytwory artystyczne, imitujące doskonale półszlachetne lub barwne kamienie naturalne, jak agat, jaspis i in. R. Chaffers w 1752 r. wytworzył natomiast odmianę porcelany o przebłysku kości słoniowej. Na uwagę zasługuje również fakt z pokrewnej dziedziny przemysłowej: w tym czasie przystąpiono we Francji do produkcji płyt szklanych dużych wymiarów.

W grupie zagadnień związanych bezpośrednio z chemią nieorganiczną dokonał się w ciągu tego stulecia zupełnie zasadniczy przełom w dziedzinie operowania substancjami gazowymi, przynajmniej w zakresie laboratoryjnym. Amoniakiem gazowym zajmowali się badacze tej miary co Priestley, Scheele czy Berthollet; oznaczono skład jakościowy i ilościowy amoniaku. Wyodrębniono tak ważne substancje, jak wodór, azot i tlen. Przemysłowe znaczenie zyskał w tym czasie dwutlenek węgla. Nad udoskonaleniem metod wytwarzania czystego dwutlenku węgla pracowali Bewley (1767 r.), Priestley (1772 r.), Lavoisier (1773 r.), Magellan (1777 r.) i wielu innych; szczególnym osiągnięciem było uruchomienie w 1787 r. pierwszej przemysłowo zorganizowanej wytwórni sztucznej wody selterskiej, która powstała w Szczecinie. Najdonioślejszym jednak

faktem było odkrycie bielących właściwości gazowego chloru. Przestarzałe sposoby bielenia tkanin były prawdziwym hamulcem w rozwoju tego wielkiego przemysłu. Poszukiwano więc od dawna radykalnej zmiany tej uciążliwej metody. Pierwszymi, którzy opisali dokładnie bielące właściwości chloru byli: C. L. Berthollet i Th. de Saussure. Dla przemysłu była to bezcenna wskazówka. Zastosowanie jednak chloru gazowego przy ówczesnym stanie techniki przemysłowej było bardzo uciążliwe. Niebawem Berthollet stwierdził, że również podchloryny, znacznie łatwiejsze w użyciu niż chlor mają doskonałą zdolność bielenia. I wówczas zaszedł niesporadyczny przypadek w świecie naukowym: Berthollet przekazał tę wiadomość J. Wattowi, ten ze swej strony poinformował o tym kilku zainteresowanych w Glasgow; w rezultacie w 1789 r. Chr. Tennant pobrał patent najpierw na wyrób roztworu wapna bielącego, a w roku następnym opracował i opatentował dodatkowo metodę produkcji suchego wapna bielącego, otwierając w ten sposób okres przemysłowego rozwoju produkcji środków bielących.

Równocześnie w wielu innych działach technologii nieorganicznej i organicznej można było stwierdzić ciągły i systematyczny, czasem doraźnie nieuchwytny lub niedoceniany dorobek, postęp i rozwój. Podstawa surowców rozszerzała się, metody pracy były coraz doskonalsze, mnożyła i różnicowała się aparatura chemiczna, ale przede wszystkim rosło nieustannie doświadczenie i rozumienie rozgrywających się procesów przetwórczych w wyniku zachodzących reakcji chemicznych. Te tendencje ewolucyjne i fakty można ilustrować tu tylko wybranymi przykładami.

Wspomniano już o tym, że Marggraf odkrył kwas fosforowy, niebawem kości stały się surowcem do produkcji fosforu i jego związków. Od 1720 r. dysponowano już znaczniejszymi ilościami azbestu, którego złoża odnaleziono na Uralu. Ledermüller w książce drukowanej w 1775 r. wspomina o różnych przedmiotach wytworzonych z tego ognioodpornego materiału.

Widoczny postęp zarysował się w dziedzinie produkcji i stosowania koksu. Pod koniec lat trzydziestych XVIII w. po przełamaniu licznych trudności zaczęto wytwarzać w mielerzach koks odpowiadający potrzebom i wymaganiom metalurgii. W kilkadziesiąt lat później prymitywne mielerze zastąpiono piecami „ulowymi" typu burgundzkiego lub schaumburskiego, zamkniętymi sklepioną pokrywą i przyjmującymi jednorazowy ładunek od trzech do sześciu ton węgla. Operacja odgazowania i skoksowania węgla trwała zwykle 60—72 godz. Już w tych czasach podejmowano szczególnie w okręgu Saary próby budowania pieców muflowych, przystosowanych do odzyskiwania smoły węglowej; próby nie wypadły pomyślnie, gdyż stwierdzono przy tym obniżenie się jakości koksu. Poprzestano więc na razie przy dawnej metodzie pracy.

Szybki rozwój włókiennictwa oraz techniki bielenia i barwienia tkanin stał się dodatkową przyczyną dalszego rozszerzenia zbytu różnych chemikaliów. Dowóz cennych barwników naturalnych z Dalekiego Wschodu do Europy był w XVII w. silnie hamowany przez bariery celne i zakazy przywozu, ustanawiane w imię lokalnych interesów rolnictwa; w XVIII w. sytuacja uległa radykalnej zmianie. Zgodnie z postulatami przemysłu włókienniczego i mody barwniki „kolonialne" były już używane w Europie w dużych ilościach. Stosowanie tych barwników spowodowało zaś wzrost zapotrzebowania na takie chemikalia, jak kwasy, zasady, sole, mydło i środki bielące. W połowie tego wieku (od 1747 r.) francuska fabryka włókiennicza w Rouen wprowadziła pewną nowość, mianowicie metodę barwienia włókien tzw. czerwienią turecką. Był to barwnik zaprawowy z grupy marzanny (krapowej) o szczególnie żywym odcieniu i dużej trwałości, stosowany od dawna na wschodzie. W tym przypadku środkami zaprawowymi były sole glinu. Francuzi sprowadzili fachowców z Grecji, obeznanych z tym sposobem barwienia tkanin i rozpowszechnili tę metodę szeroko zwłaszcza po 1776 r., gdy opublikowano szczegóły technologiczne tego procesu. Rozrost włókiennictwa oraz ogólne podniesienie stopnia cywilizacji przyczyniło się pośrednio również do zwiększenia produkcji mydła w wielu krajach europejskich.

Wreszcie na szczególne podkreślenie zasługuje fakt zapoczątkowania w tym czasie kilku zupełnie nowych doświadczeń lub nawet prób produkcyjnych z zakresu chemii organicznej, które niebawem stały się zalążkiem wielkich i ważnych przemysłów w skali światowej. Tak np. w 1729 r. A. S. Frobenius w Anglii podejmuje produkcję eteru etylowego nazywanego eterem siarkowym. Znacznie ważniejsze jest jednak to, że Fr. Karol Achard uruchamia w 1786 r. pierwszą małą, eksperymentalną wytwórnię cukru buraczanego. W ten sposób otwarte zostało konkretnie nowe i wielkie zagadnienie technologiczne, przemysłowe i ekonomiczne, które niebawem doprowadziło do imponujących osiągnięć. W wyniku znacznego pogłębienia naukowego zjawisk związanych z procesami fermentacyjnymi w 1766 r. podjęto na małą skalę wyrób drożdży. Należy też wspomnieć i o tym, że już w 1736 r. badacz francuski Charles M. de la Condomine przedstawił paryskiej Akademii Nauk wyczerpujące sprawozdanie o uzyskiwaniu, przerobie i zastosowaniu kauczuku południowo-amerykańskiego [4]. Ponowne zwrócenie uwagi na ten egzotyczny surowiec o wciąż niewyjaśnionym zastosowaniu wiąże się z przekazaniem w darze większego ładunku kauczuku od kolonistów królowi portugalskiemu w r. 1759. Tym materiałem zainteresował się m. in. Priestley i stwier-

[4] Kiełbasiński St., *Kauczuki i tworzywa sztuczne*. Skrypt Politechniki Łódzkiej, 1954.

dził, że kauczuk ściera pismo ołówkowe bez naruszenia papieru. Niebawem pojawiły się w sklepach angielskich (w 1770 r.) pierwsze gumki do ołówka.

W tej atmosferze ogólnego postępu technicznego i naukowego poszukiwania związków pomiędzy przyczyną i skutkiem, w okresie dociekliwej krytyki racjonalistycznej i ugruntowania badań analitycznych, w okresie wyraźnej tendencji wiązania chemii z fizyką i matematyką dokonane zostało epokowe dzieło przez wybitnego fizyka francuskiego Antoniego

A. W. Lavoisier

Wawrzyńca Lavoisiera (1743—1794). Wyparło ono definitywnie nie tylko z nauki chemii ostatnie pozostałości średniowiecza i kultu dla metafizycznego dogmatyzmu, ale również rzuciło snop jasnego światła na samą istotę przemian chemicznych. Te prace i osiągnięcia wielkiego uczonego stanowią po dzień dzisiejszy jeden z głównych punktów węzłowych w ewolucji chemii teoretycznej i stosowanej.

A. W. Lavoisier znakomity eksperymentator i naukowiec najwyższej klasy, o umyśle bystrym i twórczym, dociekliwym i konsekwentnym, podejmował w życiu przeróżne tematy i na wielu polach działalności wyżłobił trwałe i wyraźne ślady swojej naukowej indywidualności. Rozpiętość jego zainteresowań była tak duża, jak jego pracowitość i wytrwałość; zawsze zmierzał do zbadania podjętej sprawy do samego dna, bez pozo-

stawienia jakichkolwiek niedomówień i choćby cienia wątpliwości. Mając zaledwie 23 lata opracował konkursowy projekt oświetlenia Paryża lampami olejowymi [5]. Niebawem skoncentrował się na zagadnieniach ściśle naukowych i zaczął pracowicie atakować najaktualniejszą i najbardziej zagmatwaną problematykę fizyko-chemiczną. Wspólnie z S. de Laplacem skonstruował kalorymetr lodowy i wykonał dużą liczbę oznaczeń ciepła właściwego i utajonego w procesach topienia metali; udowodnił, że diament jest chemicznie czystym węglem, spalającym się w wysokiej temperaturze do dwutlenku węgla; pogłębił i rozwinął prawo zachowania masy w reakcjach chemicznych i skierował uwagę na znaczenie ilościowych badań analitycznych. Idąc śladami Cavendisha przeprowadził syntezę wody z pierwiastków i odwrotnie kierując parę wodną przez rozżarzoną rurę nad sproszkowanym żelazem rozłożył ją na elementy składowe. Rozliczne swoje prace naukowe podawał bieżąco do publicznej wiadomości i fachowej krytyki w takich czołowych wydawnictwach jak *Mémoires de l'Académie des Sciences*, *Journal de Physique*, *Annales de Chimie* etc. Jednakże trzy tematy pasjonowały go szczególnie i na nich skupiła się najbardziej zasadnicza i twórcza działalność naukowa Lavoisiera. Były nimi: krytyczna analiza samych podstaw teorii flogistonowej, a więc wszelkich form reakcji spalania, zbadanie istoty procesów fermentacyjnych, opracowanie zasad racjonalnego słownictwa i systematyki przynajmniej w zakresie dokładniej rozpoznanej i przepracowanej chemii nieorganicznej.

Zadanie pierwsze, które od 1772 r., do roku 1789 absorbowało niezmiennie umysł Lavoisiera zostało w zasadzie rozwiązane dość wcześnie z precyzyjną dokładnością zarówno na płaszczyźnie teoretycznej, jak i w zakresie eksperymentalnym. Przypadkowe informacje pochodzące od Priestleya o odkryciu w 1774 r. „zdeflogistowanego" powietrza, czyli tlenu, pozwoliły Lavoisierowi na wyciągnięcie właściwych naukowo wniosków, zastosowana zaś metoda analizy ilościowej nie pozostawiła już najmniejszych wątpliwości, że w procesach spalania czy oddychania zasadniczą rolę odgrywa nie hipotetyczny, nieważki i analitycznie nieuchwytny flogiston, ale jeden ze składników powietrza, tlen o ściśle określonych, niezmiennych i stwierdzalnych właściwościach. Zanim jednak ta prawda zyskała powszechnie prawo naukowego obywatelstwa, upłynęły lata.

Jak już wspomniano punktem wyjścia teorii Stahla było zjawisko „zwapniania" prażonych metali przy dostępie powietrza oraz ich regeneracji przez rzekomo ponowne doprowadzenie flogistonu do skalcynowanej substancji. Lavoisier odwrócił całkowicie wykładnię chemiczną tych

[5] Wawrzyczek W., *Twórcy Chemii*, PWT, Warszawa 1959.

zjawisk: to co było poczytywane dotychczas za wydzielanie się flogistonu, wyjaśnione zostało jako łączenie się z tlenem; to zaś co było uważane za ponowne przyłączenie flogistonu stało się według nowej teorii procesem redukcyjnym, polegającym na odrywaniu tlenu. Aby poprzeć swoją teorię Lavoisier przeprowadził klasyczne doświadczenia z łatwo utleniającymi się metalami, poddając je w stanie rozdrobnionym ogrzewaniu w zatopionej rurze szklanej. W doświadczeniu tym, wbrew założeniom teorii Stahla nie tylko nie wydzielił się flogiston, ale odwrotnie początkowe ciśnienie powietrza zmniejszyło się i jego objętość zredukowała się o jedną piątą, tj. o całą zawartość tlenu, przy czym pozostała reszta była już niezdolna do podtrzymywania palenia. Natomiast ciężar „zwapniałego" metalu zwiększył się dokładnie o ciężar zaabsorbowanego z powietrza tlenu. Analogicznie oznaczone zostały ilościowo produkty spalenia fosforu, węgla, wodoru i innych substancji palnych, wykazując zawsze ten sam charakter i kierunek reakcji. Podobnie w 1789 r. Lavoisier wykazał, że oddychanie jest procesem bezpłomiennego spalania substancji organicznych, połączonym z wydzielaniem ciepła i dwutlenku węgla. Również i w procesach fermentacyjnych odkrył Lavoisier zjawiska zbliżone chemicznie do reakcji spalania. Poddając fermentacji np. roztwór cukru, oprócz alkoholu uzyskano gazowy dwutlenek węgla, co świadczyło o zachodzącej reakcji utlenienia. Wreszcie w 1787 r. Lavoisier z grupą współpracowników podjął trud ustalenia jednolitej, racjonalnej i zbudowanej według ściśle określonych założeń i norm systematyki związków chemicznych i ich słownictwa. Stan faktyczny w tej dziedzinie przedstawiał wówczas obraz całkowitego chaosu. Na oznaczenie np. tak prostej substancji jak chlorek amonowy, znanej już w starożytności, stosowano ok. 30 dowolnie różnych nazw [6]. Różne od wieków stosowane nazwy stanowiły taką subiektywną mieszaninę, że często należało domyślać się o jakim związku chemicznym mówi się w sprawozdaniach naukowych. Określenia ustalone przez Lavoisiera odpowiadały najczęściej składowi chemicznemu danej substancji oraz w miarę możności uwzględniały zachowanie się jej w procesach utleniania jako najbardziej znamiennych. Ta tendencja przetrwała przynajmniej w zasadzie do czasów obecnych.

Można łatwo zrozumieć, że zarówno nowa teoria utleniania, obalająca cały gmach zakrzepłych pojęć i wyobrażeń, jak i nowa nomenklatura chemiczna napotkały początkowo na zdecydowany opór wybitnych wyznawców teorii flogistonowej. Ale obiektywna wartość osiągnięć naukowych Lavoisiera siłą swojej logiki, jasności i łatwej sprawdzalności usuwała stopniowo wszystkie przeciwieństwa i wątpliwości. Obalenie błęd-

[6] Walden P., *op. cit.*, str. 29.

nych mniemań i skierowanie chemii na drogę, która wkrótce zapewniła jej tak wielki i nieoczekiwany rozwój, poczytywano coraz powszechniej za historycznę zasługę Lavoisiera. Toteż rok 1789 trzeba przyjąć w historii rozwoju chemii jako datę przełomową, zamykającą wiekową przeszłość i otwierającą okres wszechstronnego rozwoju nowoczesnej chemii teoretycznej i stosowanej. W tym roku Lavoisier ogłosił syntezę swoich poglądów i osiągnięć naukowych w dziele *Traité élémentaire de Chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découverts modernes.*

Tak kończył się dla chemii w. XVIII, wiek epokowych odkryć i ważkich osiągnięć, wielkiego przełomu światopoglądowego, znaczonego żmudną drogą badań i rozważań przebijających się od abstrakcyjnej teorii Stahla do matematycznych sformułowań Lavoisiera, wiek emancypacji chemii jako nowej gałęzi wiedzy i nowych metod technologicznych oraz okres, w którym fundamentem dalszych prac badawczych i dalszych wysiłków twórczych stała się waga analityczna, miara i liczba.

W wieku tym wyodrębniono i scharakteryzowano około 20 nowych pierwiastków, jak tlen, azot, wodór, chlor, węgiel, fluor, bar, wolfram, molibden i in. Zapoczątkowano wówczas na większą skalę chemię gazów, wypracowano szereg metod syntezy, rozwinięto poważnie analizę w zakresie chemii nieorganicznej, a Lavoisier stworzył pierwsze wytyczne dla organicznej analizy elementarnej oznaczając ilościowo produkty spalenia danej substancji. W tym czasie wypracowano pierwsze bezpośrednie więzy między nauką i praktyką chemiczną, ustalono wiele fundamentalnych prawideł fizyko-chemicznych, a przede wszystkim potwierdzono doświadczalnie prawo o niezniszczalności materii. Zaobserwowano po raz pierwszy zjawisko katalizy i wprowadzono energię elektryczną jako ważny czynnik do pracowni chemicznych. W tym okresie zbudowano tak ważne i cenne aparaty jak termometry, kalorymetr, urządzenia destylacyjne z deflegmatorami, przyrządy do badania i izolowania gazów. Marggraf wprowadził do pracowni chemicznych mikroskop i przy jego użyciu odkrył obecność cukru w burakach, a Achard posłużył się w 1784 r. po raz pierwszy tyglem platynowym. Droga ewolucyjna chemii przemysłowej była niemniej znamienna; z zakamarków laboratoryjnych, z małych warsztatów rzemieślniczych przenosiła się do własnych, operujących znaczniejszymi ilościami surowców instalacji fabrycznych, obsługiwanych przez liczny i fachowy personel.

Jeżeli na początku tego wieku mogły budzić się obawy czy chemia dotrzyma kroku w lawinowym rozwoju i w technologicznym postępie innym dziedzinom twórczej pracy ludzkiej, to pod koniec XVIII w. wszystkie wątpliwości zostały rozproszone i obalone. Chemia w swoich podstawach materialnych i w swoich zasobach naukowych stała się dojrzała do nowego, bardziej dalekosiężnego i bardziej ambitnego startu.

Rozdział VI

Ukształtowanie podstaw chemii teoretycznej i przemysłowej 1790 — 1855

W jednej z najpiękniejszych książek napisanych kiedykolwiek o chemii [1] wymienia się trzy nazwiska jako właściwych pretendentów do zaszczytnego tytułu „ojca nowoczesnej chemii": R. Boyle'a, J. Priestleya i A. W. Lavoisiera. Ale współcześni oceniali nieco odmiennie nowatorskie nauki „ojców chemii". Tak np. gdy tylko Lavoisier ogłosił swoje podstawowe i przełomowe dzieło o procesach utleniania, zostało ono łącznie z wizerunkiem autora spalone publicznie w Berlinie na znak protestu przeciwko tym herezjom naukowym [2]. W okresie następnym nie posługiwano się już takimi drastycznymi symbolami dla wyrażenia odmiennych poglądów naukowych. Natomiast poważny zastęp dwunastu głównych mistrzów światowych chemii, działających twórczo w pierwszej połowie XIX w. tj. Berthollet, Proust, Dalton, Avogadro, Davy, Gay-Lussac, Berzelius, Faraday, Mitscherlich, Wöhler, Dumas i Liebig wymieniali liczne i dotkliwe ciosy bądź to pomiędzy sobą, bądź też z innymi wybitniejszymi kolegami, budując równocześnie z całym samozaparciem najwspanialszy gmach wiedzy, nie mający żadnego porównywalnego precedensu w całej przeszłości.

Oczywiście nie można zapominać, że warunki rozwoju zarówno nauk chemicznych, jak i rodzącego się przemysłu chemicznego były teraz znacznie pomyślniejsze niż w ubiegłych dziesięcioleciach. Dawniej każda twórcza myśl i nowa inicjatywa musiała wypracowywać samodzielnie wszystko od samych początków. Ogromna większość podejmowanych zagadnień chemicznych lub technologicznych miała charakter na wskroś pionierski; nie znajdowały one żadnego mocnego punktu oparcia w dorobku przeszłości. Obecnie bardzo szybko okazało się, jak silne i szerokie

---

[1] Cragg-Graham, *Podstawy nowoczesnej chemii ogólnej*, PWT, Warszawa 1958, str. 186.

[2] Wawrzyczek W. *Twórcy chemii*, PWT, Warszawa, 1959.

fundamenty założone zostały przez Boyle'a, Priestleya, a przede wszystkim przez Lavoisiera. Konsekwencje teoretyczne i praktyczne ich metod pracy i osiągnięć prześcigały się wzajemnie.

Nastąpił więc okres bujnej rozbudowy nowych teorii i hipotez naukowych, formułowania nowych prawideł ogólnych, zgłaszania nowych wniosków, dedukowanych logicznie z dawniejszych odkryć i ustaleń. Już w XVII w. R. Boyle przyjmował istnienie wielu różnych pierwiastków,

John Dalton

zakładał istnienie atomowej struktury materii i wykazywał wspólnie z Mariottem zależność pomiędzy objętością gazów i ciśnieniem. Wszystkie te zagadnienia pogłębia i rozwija wszechstronnie John Dalton (1766—1844). Na początku XIX w. ogłasza obszernie motywowaną teorię atomową, nadając jej treść zgodną z nowymi zdobyczami naukowymi. Na tej podstawie ustala szereg wniosków, formułuje m. in. ważne prawo „stosunków stałych i stosunków wielokrotnych" mówiące, że gdy dwa pierwiastki tworzą kilka różnych związków chemicznych, to ilości jednego pierwiastka przypadające na stałą ilość drugiego pozostają do siebie w stosunku prostych liczb całkowitych. Łańcuch logicznych konsekwencji rozszerza się dalej i to wielokierunkowo. Proust na podstawie obszernego materiału doświadczalnego wykazuje np., że niezależnie od wybranej metody otrzymywania jakiegoś związku, pierwiastki znajdują się w nim zaw-

sze w tym samym stosunku ciężarowym (prawo stałości składu chemicznego), a J. B. Richter odkrywa prawo stosunków równoważnikowych. Dalton i Gay-Lussac podają w 1802 r. ważne uzupełnienia do prawa Boyle'a-Mariotte'a. Jak wiadomo — na badaniu gazów — koncentrował swoją uwagę Priestley. Obecnie szereg wybitnych fizyków i chemików z Daltonem, Davym, Avogadrą i Gay-Lussaciem na czele kontynuuje i rozwija te badania. W oparciu o osiągnięcia Priestleya i o metody ilościowe Lavoisiera publikuje się tak fundamentalne teorie i prawidła, jak stwierdzenie Gay-Lussaca z 1808 r. głoszące, że objętości gazów wchodzących ze sobą w reakcje chemiczne pozostają do siebie w prostych stosunkach liczbowych oraz jak hipoteza cząsteczkowa Avogadry, ogłoszona w 1811 r. Pośrednio zaś na tym samym podłożu krzewią się bardzo różnorodne, nowe odkrycia i ustalenia. Tak np. wyjaśnienie zjawiska utleniania metali zezwoliło na szerokie wykorzystanie procesów redukcyjnych i wydzielenie wielu nowych metali w czystej postaci. W tym czasie wprowadzono pojęcie względnych ciężarów atomowych, ogłoszono prawo Daltona o zachowaniu się gazów w mieszaninach, a Faraday sformułował ilościowe prawa elektrolizy itd.

Równocześnie cechą charakterystyczną omawianego okresu jest ogromny wzrost zasobów materiałowych, którymi operuje się w pracowniach naukowych i w przemyśle. Wiele dawno odkrytych, a następnie zapomnianych substancji ponownie izolowano i określono. Tak stało się z cukrem gronowym odkrytym powtórnie przez Prousta w 1802 r.; w 1825 r. Faraday izolował i scharakteryzował zapomniany benzol; Liebig w 1831 r. odkrył ponownie aceton, Runge w 1834 r. fenol, a Brandes i niezależnie Redtenbacher wydobyli z zapomnienia akroleinę itd. Wiele innych związków chemicznych lub nowych, nieznanych jeszcze pierwiastków odkryto w tym czasie, podając ich cechy chemiczne i fizyczne. Do grupy tej należą np. tlenki uranu, tytanu, chromu, strontu, itru, a również kwas chromowy, octowy, siarczek węgla i w. in. T. Lowitz już pod koniec XVIII w. uzyskuje chloropochodne kwasu octowego, a na początku następnego stulecia izoluje się wiele przeróżnych związków organicznych, jak kwas choleinowy, amigdalina, nikotyna (1809r.), lecytyna, cholesteryna, morfina, glikokol. Odkryto też szereg ważnych nowych pierwiastków jak iryd i osm (S. Tennant), tellur, pallad i rod (W. H. Wollaston), krzem (J. J. Berzelius), brom (J. A. Balard), wanad (Niels G. Sefström), niob (H. Rose), ruten (K. Claus), iterb i cer (M. H. Klaproth, C. G. Mosander), selen (J. J. Berzelius), lit (Arfvedson), kadm (Stromeyer) itd. W 1818 r. L. J. Thénard odkrywa metodę wytwarzania wody utlenionej z nadtlenku baru i kwasu siarkowego, a B. Courtois, H. Davy i J. L. Gay-Lussac zgłaszają odkrycie jodu; Gay-Lussac i L. J. Thénard otrzymują bor przez redukcję kwasu borowego oraz sód i potas przez redukcję

węglanów. W 1828 r. Fr. Wöhler działając potasem na chlorki uzyskuje metaliczny beryl i itr, K. Reichenbach w 1830 r. izoluje parafinę ze smoły bukowej, J. Liebig w 1831 r. odkrywa chloroform, a w roku następnym Dumas wydziela antracen ze smoły węglowej. Wykaz przytoczonych tu faktów jest oczywiście tylko ilustracją przejawiającej się w tym zakresie wielkiej dynamiki twórczej.

Lista surowców użytkowanych przemysłowo wykazała również w tym czasie dość poważne zmiany. Przede wszystkim więc eksploatacja wielu znanych i stosowanych już od dawna surowców w ścisłym związku z powstawaniem i szybkim rozwojem produkcji kwasu siarkowego, sody, substancji bielących, nawozów sztucznych, mydła, papieru itp. bardzo poważnie zwiększa się. Do tej grupy trzeba zaliczyć: kamień wapienny, siarkę, piryty, kości i angielskie koprolity (fosforyty) oraz węgiel koksujący, bawełnę, tłuszcze i kwasy tłuszczowe. Szersze znaczenie w tym czasie zyskuje również platyna.

Ważniejsze wydaje się jednak to, że liczba surowców chemicznych powiększyła się o nowe pozycje. Jedną z najważniejszych zdobyczy jest odkrycie w 1808 r. przez T. Hänkego, złóż saletry sodowej w Chile. Surowa sól zawiera od 15 do 70% azotanu sodowego, który znalazł szybko rosnące zapotrzebowanie zarówno jako główny w tych czasach nawóz azotowy, jak też jako podstawowy surowiec do wyrobu kwasu azotowego i jego licznych pochodnych. W 1850 r. wywóz skoncentrowanej saletry z Chile doszedł już do ok. 25 tys. ton[3]. Drugim nowym i ważnym wówczas surowcem stały się buraki cukrowe, szczególnie wówczas gdy od 1812 r. przemysł cukrowniczy w Europie zachodniej zaczął się coraz intensywniej rozwijać. Również kauczuk naturalny, po odkryciu metody wulkanizacyjnej, począł zyskiwać coraz większe znaczenie przemysłowe. Wreszcie do grupy potencjalnych surowców chemicznych, których rola gospodarcza spotęguje się bardzo znacznie po upływie kilkudziesięciu lat trzeba jeszcze zaliczyć celulozę drzewną i boksyt. Na razie odpadki bawełniane pokrywały bez większych trudności zapotrzebowanie na surowiec celulozowy; z upływem lat i w tym zakresie przy dużym rozwoju przemysłów opartych o przerób celulozy sytuacja zacznie ulegać radykalnej zmianie. Z boksytem zaś związany jest dziś wielki przemysł aluminiowy. Otóż na rok 1821 przypada właśnie odkrycie przez Berthiera we Francji, w miejscowości Les Beaux, złoży minerału nazwanego od miejsca znalezienia boksytem.

W jeszcze wyższym stopniu wzbogaciła się chemia w omawianym okresie przez zastosowanie nowych metod pracy, nieznanych i niedostęp-

[3] Ost H., *Lehrbuch der chemischen Technologie, Max Jänecke*, Leipzig 1920.

nych jeszcze przed kilkudziesięciu laty. Wywołało to nie tylko głęboki przewrót w dziedzinie pracy badawczo-naukowej, ale również wywarło przemożny wpływ na powstanie i rozwój nowych gałęzi chemii przemysłowej. Przede wszystkim należy wymienić zastosowanie prądu elektrycznego. Wprawdzie już pod koniec ubiegłego roku rozporządzano w pracowniach chemicznych prądem wytwarzanym mechanicznie, przez pocieranie materiałów nie przewodzących, np. siarki lub szkła, ale źródło to było pod każdym względem mało przydatne, dla badań chemicznych zaś niedostatecznie efektywne. Na początku XIX w. w tym zakresie dokonał się wielki przełom. Dnia 20.III.1800 r. profesor fizyki Volta złożył przewodniczącemu Royal Society w Londynie sprawozdanie o odkryciu i znaczeniu „stosu elektrycznego". Łącząc większą ilość elementów galwanicznych w stos, Volta oddał do dyspozycji źródło stałego prądu elektrycznego o znaczniejszym stosunkowo natężeniu i dość wysokim napięciu. Opublikowanie tych informacji wywołało niezwłocznie całą lawinę nowych problemów i badań, a tematyka ta jest tak specjalna i tak obszerna, że w ramach niniejszej pracy można przytoczyć przykładowo tylko kilka luźnych i bliżej związanych z chemią fragmentów. Tak więc W. Nicholson, A. Carlisle, a także J. B. Richter stwierdzili zjawisko rozkładania wody prądem elektrycznym na wodór i tlen. Dalszą poważną zdobyczą było odkrycie przez Davy'ego oraz niezależnie od niego przez Pietrowa w Rosji łuku elektrycznego. Również zjawiska związane z oddziaływaniem prądu na roztwory różnych soli przykuwają uwagę wielu badaczy. Zajmują się nimi J. J. Berzelius, W. Hisinger, a Davy i Cruikshank w latach 1803—1807 stwierdzili, że prąd przepływający łatwo przez roztwór soli kuchennej powoduje określone reakcje chemiczne: na elektrodach wydzielają się gazy, a w roztworze powstaje ług sodowy. Jak wykazał Simon, jednym z tych gazów jest chlor. W wyniku tych doświadczeń już na początku XIX w. wymagało rozstrzygnięcia następujące zagadnienie: dlaczego niektóre roztwory przewodzą prąd elektryczny łatwo i dobrze, a inne praktycznie nie przewodzą go wcale. W 1805 r. T. v. Grotthuss próbuje sformułować pierwszą teorię procesu elektrolitycznego, wypowiadając przypuszczenie, że przewodnictwo w niektórych roztworach jest skutkiem przenoszenia ładunku elektrycznego od jednej cząstki do drugiej, docierając w końcu do przeciwelektrody. Istota zjawisk nie została na razie wyjaśniona, ale droga poszukiwania rozwiązań została wskazana. Inne zagadnienie naświetla J. B. Richter; wskazuje on, że źródłem elektryczności galwanicznej są rozgrywające się w ogniwach procesy chemiczne, które mogą być stwierdzone analitycznie.

Od początku trzeciego dziesięciolecia XIX w. rozwój elektrotechniki i elektrochemii szedł już milowymi krokami naprzód. Niebawem następuje odkrycie zjawiska elektromagnetyzmu, poznanie podstaw elektrody-

namiki, podejmowane są próby konstrukcji silnika elektrycznego, a M. Faraday określa indukcję elektromagnetyczną i podaje prawa ilościowe elektrolizy, uzupełniając je ustaleniem i wyjaśnieniem takich nowych pojęć, jak jony, aniony i kationy; wreszcie w 1842 r. J. F. Daniell, uwzględniając wcześniejsze osiągnięcia naukowe, ogłasza nową teorię elektrolizy, która zakłada rozbicie cząsteczki soli w roztworze wodnym na kation i na anion składający się z reszty kwasowej. Tendencje praktycznego wykorzystania tego nowego czynnika w chemii są dostrzegalne wówczas na każdym kroku. Davy, posługując się potężną jak na owe czasy baterią tysiąca ogniw galwanicznych, wytwarza w procesie termoelektrycznym stop żelaza i aluminium; Despretz przeprowadza w 1849 r. próbę stopienia krzemionki w łuku elektrycznym, przy czym uzyskuje produkt „twardszy od stali chromowej albo rubinu, tj. poznany później węglik krzemu, czyli karborund, zaś Watt i Cook zgłaszają w 1851 r. wniosek patentowy na elektrochemiczne otrzymywanie chloru[4].

Niemałe znaczenie zyskało wówczas szersze zastosowanie reakcji katalitycznych i fotokatalitycznych, które w kilkadziesiąt lat później staną się potężną dźwignią rozwoju i unowocześnienia chemii teoretycznej i przemysłowej. Wyrażenie „kataliza" użyte zostało po raz pierwszy przez A. Libaviusa w 1597 r. i zostało później zapomniane. W drugiej połowie XVIII w. odkryto ponownie zjawiska katalizy, a Scheele wytworzył tą metodą niektóre estry. Na początku nowego stulecia J. L. Gay-Lussac i L. J. Thénard zastosowali z powodzeniem reakcje fotokatalityczne, uzyskując np. z mieszaniny pierwiastków naświetlonych promieniami słonecznymi gazowy chlorowodór (1809 r.). W dwa lata później J. Davy wystawiając na działanie promieniowania mieszaninę tlenku węgla i chloru otrzymał nowy związek chemiczny nazwany fosgenem. Reakcje tego typu zastosował na szerszą skalę w latach dwudziestych XIX w. M. Faraday do przyłączania i podstawiania chlorowców w związkach organicznych. W ten sposób w 1825 r. uzyskał on sześciochlorocykloheksan. Natomiast J. W. Döbereiner zaczął posługiwać się czernią platynową jako szczególnie aktywnym katalizatorem. W 1821 r. przeprowadził proces katalitycznego utleniania alkoholu do kwasu octowego, a mieszaninę wodoru i tlenu (powietrza) doprowadzał w obecności platyny do zapłonu. Na tej podstawie zostały zbudowane w przyszłości tzw. zapalniczki Döbereinera, w których np. pary alkoholu metylowego zapalały się pod działaniem katalizatora platynowego. Te i podobne zjawiska wywołały wówczas najszersze zainteresowanie oraz falę zgłoszeń patentowych, Fr. Wöhler przebadał np. dużą liczbę substancji na ich własności katalityczne. Wreszcie

[4] Wasilewski L., *Elektrochemia Techniczna*, Skrypt, Gliwice 1952, str. 1—54.

w 1835 r. J. J. Berzelius zajął się dokładniej tym tematem, ustalił definicję katalizy i wyraził znamienne i potwierdzone w przyszłości mniemanie, że „ w żywych organizmach roślinnych i zwierzęcych zachodzą rozliczne procesy katalityczne o dużym znaczeniu biologicznym". Berzelius przewidział też przemysłowe znaczenie procesów katalitycznych w przyszłości.

Dla całości obrazu należy jeszcze choćby najogólniej zaznaczyć, że ówczesne warunki ogólnogospodarcze i polityczne, nie były niekorzystne dla rozwoju chemii. Czasy były szczególnie niespokojne, wojny w okresie napoleońskim wybuchały z coraz większą gwałtownością, a mimo to na marginesie wypadków krystalizowały się dostatecznie aktywne siły twórcze, które umożliwiały zapisanie na kartach historii niejednego ważnego osiągnięcia. Przede wszystkim więc można stwierdzić znamienny dla tego okresu fakt, że sprawy chemii teoretycznej i praktycznej stały się przedmiotem najszerszego zainteresowania. Powstawały i rozrastały się nieustannie nowe uczelnie, które w poszczególnych zakładach kształciły równocześnie po kilkuset młodych chemików. Niezależnie od tego na przełomie XVIII i XIX w. działały liczne instytucje społeczne lub kluby dyskusyjne w Londynie, Manchesterze, Birmingham, Edynburgu, Glasgow zajmujące się naukami przyrodniczymi ze szczególnym uwzględnieniem fizyki i chemii. Zarazem przejawiała się na dość znaczną skalę akcja popularyzacyjna wiedzy chemicznej, a nawet propaganda na rzecz rozwoju przemysłu chemicznego. W pracach tych przyjmowali czynny i bezpośredni udział tak wybitni naukowcy, jak Dalton, Davy i in. Szersze zainteresowanie chemią przejawiło się równocześnie w różnych i odległych od siebie środowiskach. Tak więc w Edynburgu funkcjonowało od 1785 r. Towarzystwo Chemiczne w Glasgow, zaś nikła pod koniec XVIII w. ilość studiujących chemię zwiększyła się w 1822 r. do poważnej liczby 575 studentów[5]. Podobna dynamika ewolucyjna przejawia się w USA. W 1800 r. wykładano tam chemię w 8 wyższych zakładach naukowych; w dwadzieścia lat później dysponowano już 22 katedrami chemii. Po okresie wahań również rząd i przedstawicielstwo narodowe rewolucyjnej Francji położyło szczególny nacisk na rozwój studiów technicznych. W 1794 r. zaszedł znamienny fakt: Konwencja ogłosiła akt o kreowaniu pierwszej École Polytechnique w Paryżu, gromadząc w tej pionierskiej uczelni tak znakomitych profesorów chemii i fizyki, jak Berthollet, Chaptal, Guyton de Morveau, Fourcroy, Vauquelin i in. Nawet w najcięższych i najbardziej decydujących zmaganiach wojennych Napoleon zabronił przydzielania absolwentów paryskiej politechniki do służ-

[5] Haber L. F., *The Chemical Industry during the Nineteenth Century*, Claredon Press, London-Oxford, 1958, str. 37.

by frontowej twierdząc, że jest to najcenniejszy element twórczy narodu, który nie łatwo może być zastąpiony[6]. Zarządzona zaś przeciwko ekspansji handlowej Wielkiej Brytanii tzw. blokada kontynentalna wywarła bezpośrednio wpływ na usamodzielnienie się kontynentu europejskiego w zakresie produkcji przemysłowej, a m. in. i produkcji chemicznej. Jednym z takich przejawów była przyspieszona rozbudowa przemysłu cukrowniczego w Europie kontynentalnej. Niebawem zainteresowanie chemią poczęło pulsować szczególnie silnie w różnych państwach niemieckich. Wówczas to Liebig stworzył w Giessen szkołę samodzielnych badaczy naukowych; podobną akcję podjął w 1836 r. Fr. Wöhler w Getyndze i Bunsen w Marburgu oraz w Heidelbergu. W 1825 r. powstaje pierwsza na terenie Niemiec nowoczesna politechnika w Karlsruhe; w 1855 r. otwiera swoje podwoje słynna później politechnika w Zurychu. Te posiewy wydadzą niebawem nadspodziewanie obfite żniwo.

Jest zrozumiałe, że najogólniej zaznaczone tu osiągnięcia w zakresie chemii były bezpośrednim wynikiem nieprzeciętnego wkładu pracy czołowych chemików i fizyków wielu narodów. Wnikliwa i wyczerpująca charakterystyka pionierskiej kadry wybitnych indywidualności z pierwszej połowy XIX w., w pracy o ograniczonych rozmiarach i szerokiej tematyce, jest szczególnie utrudniona przez fakt ich wielostronnej działalności. Gorączkowe poszukiwanie nowych rozwiązań, odkryć oraz hipotez naukowych opanowało w tym czasie liczne umysły; w ciągu kilku dziesięcioleci intensywnej pracy twórczej szereg badaczy zapisywał bez przerwy na swoim rachunku najbardziej różnorodne osiągnięcia. Formułowaniem hipotez i praw z zakresu chemii ogólnej zajmowali się w tym czasie — aby wymienić tylko niektóre jednostki przodujące — Berthollet, Dalton, Proust, Avogadro, Gay-Lussac, Davy, Berzelius, Döbereiner, Mitscherlich, Liebig, Wöhler, Laurent i in. Protagonistami chemii organicznej byli m. in. Thénard, Sertürner, Chevreul, Mitscherlich, Schönbein, Sobrero, Dumas, Wöhler, Zinin, Walter i tylu innych. W dziedzinie chemii analitycznej i fizycznej zapisali trwale swoje nazwiska tacy uczeni, jak Klaproth, Thénard, Gay-Lussac, Berzelius, Davy, Liebig, Bunsen, K. F. Mohr, H. Fresenius i wielu innych. Ograniczając się do przytoczenia tylko tych szczegółów biograficznych, które ilustrują tezę o okupieniu każdego wielkiego osiągnięcia bezmiarem pracy często zapomnianej lub zlekceważonej, a zawsze trudnej i przebojowej, trzeba odesłać zainteresowanych do innych, bardziej specjalnych opracowań, które nie tylko zgromadziły wiele informacji

[6] Haber L. F. *op. cit.* str. 26.

o wybitnych pionierach chemii, ale ponadto zestawiły szczegółowe wykazy literatury biograficznej[7].

Tak więc J. J. Berzelius (1779—1848), uczony szwedzki i jeden z głównych wówczas autorytetów naukowych w skali światowej, stał się żywym przykładem zarówno potężnego wkładu twórczej pracy w umiłowane dzieło, jak i zupełnie wyjątkowych, wszechstronnych osiągnięć. Za główne zadanie swojego życia poczytywał sam dostarczenie jak najwięcej dowodów doświadczalnych, uzasadniających słuszność prawideł ilościowych, wynikających bezpośrednio i pośrednio z teorii atomowej. Aby np. udowodnić słuszność prawa stałych proporcji, Berzelius osobiście przeanalizował wiele tysięcy różnych związków chemicznych, wypracowując niejednokrotnie własne metody analityczne oraz w granicach możliwości ustalił bardzo dokładnie i sumiennie ciężary atomowe kilkudziesięciu pierwiastków. W 1812 r. Berzelius rozwinął teorię polarności elektrycznej atomów. Twierdził on, że wszystkie związki chemiczne powstają na skutek przyciągania się dodatnio i ujemnie naładowanych atomów lub grup atomów. Ponieważ teoria ta zakłada istnienie dwóch przeciwstawnych grup ciał, przeto została nazwana teorią dualistyczną. Ten znakomity eksperymentator, wytrawny wykładowca i biegły analityk rozwinął na najszerszą skalę badania ilościowe, sam odkrył wiele nowych pierwiastków, zapoczątkował studia nad elektrolizą wodnych roztworów soli, zdefiniował pojęcia izomerii, metamerii, alotropii, katalizy i biokatalizy, unowocześnił i wzbogacił wyposażenie laboratoriów chemicznych, a obok tego dokonał epokowego dzieła zastępując w 1813/14 r. iście hieroglificzne znakowania Daltona stosującego użycie kółek, punktów, kresek itp. przez początkowe litery nazw łacińskich pierwiastków, wiążąc z tymi symbolami liczbę określającą ciężar atomowy. Były okresy w jego życiu, że na skutek przemęczenia pracą naukową, ten silny organizm dochodził do takiego stanu wyczerpania, że na szereg miesięcy musiał być odrywany całkowicie od swojej pracowni.

Również trzech jego najbliższych rówieśników: Avogadro, Davy i Gay-Lussac zapisało na kartach historii chemi poważne osiągnięcia. A. Avogadro (1776—1856) wprowadził do nauki fundamentalne rozróżnienie pomiędzy atomami, a cząsteczkami. Reguła Avogadry zaś ustalająca, że równe objętości różnych gazów w tych samych warunkach ciśnienia i temperatury zawierają jednakową ilość cząsteczek, rzuciła jasny snop światła na wiele skomplikowanych i dotychczas niezrozumiałych

---

[7] Bugge G., *Das Buch der grossen Chemiker*, Verlag Chemie, Weinheim 1955; Wawrzyczek W., *Twórcy Chemii*, PWT, Warszawa 1959; Prandtl W. *Deutsche Chemiker in der ersten Hälfte d. XIX Jahrhunderts*, Verlag Chemie, Weinheim 1956.

reakcji i procesów. Humphry Davy (1778—1829) nazywany przez współczesnych „najsławniejszym chemikiem Europy" był pionierem rozwoju chemii fizycznej i elektrochemii. Gdy w czasie publicznego wykładu przedstawił właściwości uzyskanych elektrochemicznie pierwiastków potasu i sodu, a w szczególności ich gwałtowne reagowanie z wodą, wywołało to powszechny podziw. Stosując elektrody rtęciowe w procesach elektrolizy zdołał wydzielić po raz pierwszy w stanie wysokiej czystości takie pierwiastki, jak wapń, magnez, bar i stront. Davy wytworzył wiele no-

Humphrey Davy

wych preparatów chemicznych, ustalił, że chlor jest pierwiastkiem, a chlorowodór kwasem beztlenowym; był współtwórcą łuku elektrycznego i wynalazcą „bezpiecznej" lampy górniczej. Gay-Lussac (1778—1850) wybitnie współdziałał w zakresie rozwoju chemii gazów i chemii fizycznej. Mniej znane jest to, że przebadał on i identyfikował długi szereg różnych związków nieorganicznych i organicznych; sprecyzował też niektóre definicje (np. izomerii) i ustalił znaczenie innych pojęć (np. rodników). Gay-Lussac z powodzeniem zajmował się sprawami technologicznymi; tak np. udoskonalił produkcję kwasu siarkowego, opracował stosowaną przemysłowo metodę fabrykacji kwasu szczawiowego itp.

Indywidualnością pod każdym względem zupełnie nieprzeciętną jest Michał Faraday (1791—1867), jeden z najwybitniejszych w świecie pio-

nierów elektrotechniki. W zakresie chemii ścisłej dorobek naukowy Faradaya jest raczej przypadkowy, niemniej jednak konsekwencje jego prac i odkryć miały dla chemii teoretycznej i przemysłowej zasadnicze znaczenie. Całą swoją pozycję naukową zawdzięcza Faraday wyłącznie sobie samemu; był samoukiem „czystej wody", zdobywającym swoją wiedzę w bardzo trudnych warunkach. W trzynastym roku życia pracował jako terminator u introligatora; tam rozwinął w sobie kult dla słowa drukowanego i książki naukowej. W dziewięć lat później, zaczął pracować u Davy'ego jako laborant w Royal Institute. Tam z upływem każdego roku Faraday-laborant stawał się coraz bardziej niezastąpionym, wszechstronniejszym fachowcem i badaczem, aż wreszcie został powołany przez zespół najwybitniejszych naukowców na stanowisko szefa instytutu. Do olbrzymiego dorobku naukowego Faradaya, z punktu widzenia zainteresowań chemii, należy zaliczyć ustalenie praw ilościowych elektrolizy, które — jak zauważył później H. Helmholtz — doprowadziły do stwierdzenia, że elektryczność podobnie jak materia występuje w formie określonych „porcji", zdeterminowanych ilościowo[8]. Faraday skonstatował ponadto zjawisko fotokatalizy, zbadał i wyodrębnił kilka substancji organicznych oraz skroplił szereg gazów, jak chlor, dwutlenek siarki, siarkowodór, amoniak, chlorowodór itp.

Rówieśnik Faradaya E. Mitscherlich (1794—1863) wyjaśnił fakt różnych stopni utlenienia takich metali jak mangan, przeprowadził wiele nowych reakcji katalitycznych, odkrył zjawisko izomorfizmu oraz opracował szereg metod, polegających na chlorowaniu, bromowaniu, sulfonowaniu, nitrowaniu itd. węglowodorów aromatycznych, a w szczególności benzenu i jego homologów. Szeroki zasięg miały również badania przeprowadzone przez J. B. Dumasa (1800—1884). Zajmował się on smołą węglową i jej składnikami, przeprowadził studia nad budową kamfory, ale głównym dziełem jego życia były przeróżne reakcje podstawiania w związkach organicznych. Te właśnie procesy łącznie z metodami i osiągnięciami Mitscherlicha stały się niebawem kamieniem węgielnym powstania i rozwoju przemysłu półproduktów, stanowiących materiały wyjściowe w licznych syntezach organicznych.

Pionierami chemii są też F. Wöhler (1800—1822) i J. Liebig (1803—1873). Rejestr ich zainteresowań i prac naukowych jestnie przeciętny. W 1828 r. Wöhler dokonał przypadkowo syntezy mocznika; później przepracował wiele tematów o znaczeniu technologicznym, stosował reakcje katalityczne i ciśnieniowe, termiczne i elektrotermiczne, wydzielił ze związków wiele metali (w tym glin i beryl), zmodernizował metodę produkcji fesforu, badał alkaloidy, karbid, acetylen i wiele innych. Liebig zaś

[8] Cragg-Graham, *op. cit.*

który w szkołach był złym uczniem i podobno jeszcze gorszym praktykantem aptecznym, nagle pod wpływem wykładów KASTNERA rzucił się chciwie na zagadnienia chemiczne. On to przeprowadził pionierskie badania w zakresie biochemii, przy czym stwierdził fakt pobierania z gleby przez rośliny wielu składników mineralnych, przede wszystkim azotowych, fosforowych i potasowych oraz wykazał, że rośliny pokrywają swoje zapotrzebowanie na węgiel nie z gleby — jak wówczas sądzono — lecz z powietrza. W zakresie chemii organicznej dokonał wielu odkryć: otrzymał chloral, chloroform, zbadał wiele aldehydów i kwasów wielokarboksylowych,

Justus Liebig

wyjaśnił budowę chemiczną niektórych kwasów, zasad i soli. Pracom WÖHLERA i LIEBIGA szczególne jednak znaczenie nadały dwa fakty. Po pierwsze obaj stworzyli wzorowe pracownie chemiczne w ramach wyższych uczelni, obaj potrafili zapalić całe zespoły młodych chemików do poszukiwania nowych coraz doskonalszych rozwiązań metodologicznych, obaj wszczepili przekonanie, że podstawą rozwoju przemysłu chemicznego, decydującego o samodzielności kraju w stopniu nie mniejszym niż metalurgia, jest ścisły związek między nauką i praktyką. Ich talenty organizacyjne zostały szybko ocenione szczególnie po za granicami Niemiec; gdy w Anglii ufundowano z prywatnych darów instytut badań chemicznych, Royal Colledge of Chemistry, współtwórcy zwrócili się w 1845 r. do LIEBIGA z prośbą o wskazanie odpowiedniego kandydata na naukowego kierownika tej instytucji. LIEBIG wysunął kandydaturę swego ucznia, sławnego później w świecie organika A. W. HOFMANNA zaś Anglicy kandydaturę tę zatwierdzili. Drugim faktem, który mobilizował

młode siły do pracy twórczej w dziedzinie chemii była wszechstronna działalność publicystyczno-wydawnicza w Niemczech, kierowana głównie przez Liebiga. Przede wszystkim więc na wzór wydawnictwa francuskiego *Annales de Physique et de Chimie*, Liebig w 1832 r. podejmuje wydawanie czasopisma *Annalen der Pharmazie*, które w 1840 r. wspólnie z Wöhlerem przekształca w *Annalen der Chemie und Pharmazie;* w 1824 r. Liebig obejmuje naczelną redakcję wydawnictwa: *Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie*, a od 1848 r. kontynuuje wydawanie periodyku, założonego przez Berzeliusa pt. *Jahresberichte über die Fortschritte der Chemie*. Należy jednak zaznaczyć, że prawie wszyscy czołowi chemicy publikują poważne dzieła chemiczne, z których prace Daltona, Davy'ego, Dumasa, Klaprotha, Richtera, Liebiga i Accuma cieszą się szczególnym powodzeniem; obok już wymienionych, powstały i inne fachowe periodyki, jak założony w 1813 r. przez Sillimana *American Journal of Science*, londyńskie *Transactions of the Royal Society*, wydawany od 1828 r. *Journal für praktische Chemie*, uruchomiony w 1843 r. *Journal of the Chemical Society* albo informująca o nowozgłoszonych wynalazkach i udzielonych patentach londyńska *Chemical Gazette* (od 1842 r.).

Zrozumiałe jest, że liczba jednostek pionierskich, budujących nowe drogi rozwoju naukowego i technologicznego chemii nie ogranicza się tylko do wymienionych już osób. Przykładowo można przytoczyć szereg nazwisk i kilka szczególnie interesujących tematów podjętych w tym okresie. Oto np. J. W. Döbereiner (1780—1849) profesor chemii, technologii i farmacji na uniwersytecie jenajskim stwierdził w 1829 r. wysoce znamienne zjawisko istnienia pokrewnych grup pierwiastków chlorowców, metali alkalicznych, metali ziem alkalicznych, tlenowców i azotowców. Co ważniejsze, badania Döbereinera wykazały zdumiewający fakt: gdy doda się np. liczby ciężaru atomowego chloru i jodu i podzieli się przez dwa, to uzyskuje się liczbę odpowiadającą ciężarowi atomowemu bromu, tj. pierwiastka znajdującego się pomiędzy chlorem i jodem w grupie chlorowców. Podobny rachunek przeprowadzony dla wapnia i baru wyznacza ciężar atomowy strontu itp. W ćwierć wieku później zjawia się inny prekursor okresowego układu pierwiastków; jest nim J. H. Gladston, który badając tablicę pierwiastków zestawionych według wzrastających ciężarów atomowych zauważył, że w niektórych miejscach szeregu — z punktu widzenia stwierdzeń Döbereinera — występują widoczne przesunięcia lub nawet luki, w których brak jest znanych pierwiastków.

Pod koniec omawianego okresu pojawia się na horyzoncie naukowym jeszcze jedna gwiazda pierwszej wielkości, której działalność obejmuje również i okres następny. Jest nią R. W. Bunsen (1811—1899) profesor we Wrocławiu i od 1852 r. w Heidelbergu. Jego głęboka wiedza w połą-

czeniu ze zmysłem praktycznym prowadziła z reguły do doskonałych rozwiązań. Bunsen stworzył lub udoskonalił szereg zupełnie zasadniczych przyborów laboratoryjnych, jak palnik gazowy, pompka wodna, kalorymetr, fotometr, i in.; zbudował też nowe ogniwo elektryczne, którym posłużył się przy wydzielaniu metalicznego magnezu, strontu, chromu i glinu, rozwinął metodologię i technikę analizy gazów, opracował nową metodę analizy miareczkowej itd. Przede wszystkim jednak był wytrwałym i wytrawnym wychowawcą licznego zespołu wybitnych fizyko-chemików w skali międzynarodowej. Do jego pracowni w Heidelbergu ściągali młodzi adepci nauki z całego świata. Wspólnie z Ziżkowem, w przyszłości profesorem w Petersburgu, przeprowadził szereg zasadniczych badań z zakresu materiałów wybuchowych; wspólnie z H. Roscoe'm, późniejszym wybitnym profesorem w Manchesterze, przebadał i wyjaśnił zjawiska fotochemiczne; wspólnie z profesorem wrocławskim G. Kirchhoffem dał podstawy analizy spektralnej, która w niedalekiej przyszłości umożliwiła epokowe odkrycia nowych, ważnych pierwiastków. Jego uczniem m. in. był znany później profesor uniwersytetu krakowskiego, Karol Olszewski. Słusznie więc na podstawie wielkich dokonań i wielkiego wkładu pracy R. Bunsen zaliczony został do grona najwybitniejszych profesorów i pionierów chemii fizycznej.

Równocześnie na kartach historii zapisują się liczne inne osiągnięcia. Tak np. w 1815 r. odkryto zjawisko optycznej aktywności niektórych substancji organicznych; Schönbein stwierdził powstawanie ozonu podczas elektrolizy wody; Braconot w 1819 r. przeprowadził scukrzanie celulozy ogrzewając trociny z kwasem siarkowym; R. Piria odkrył w 1838 r. kwas salicylowy, a Ch. Gerhard wytworzył kwas acetylosalicylowy (znany obecnie jako „aspiryna", „polopiryna" itd.) (1853 r.); H. Fresenius (1818—1897) rozwijał wszechstronnie i udoskonalał metody badawczo-analityczne; H. H. Hess sformułował w latach 1840—42 podstawy naukowej termochemii[9]; L. Wilhelmy przeprowadził studia z zakresu kinetyki reakcji chemicznych; T. Anderson wyodrębnił w 1847 r. zasady pirydynowe, a A. Wurtz dokonał w 1855 r. syntezy węglowodorów itd.

Istnieje starodawna i ogólna zasada, głosząca, że wszędzie tam, gdzie rozstrzygają się ważne i wielkie sprawy, rodzą się samorzutnie spory i uporczywa walka sprzecznych opinii; zasada ta potwierdziła się i w omawianym przypadku.

Na tle daltonowskiej teorii atomowej i oznaczania względnych ciężarów atomowych wyłoniły się i trwały w ciągu całej pierwszej połowy XIX w. zacięte spory i różnice zdań pomiędzy najwybitniejszymi autorytetami chemii i fizyki, tak że sprawy te zostały ostatecznie wyjaśnione

[9] Gumiński K., *Termodynamika*, PWN, Warszawa 1955, str. 143—149.

i uzgodnione jednomyślnie dopiero po roku 1855 przy czynnym współdziałaniu nowych, prestiżowo nie zaangażowanych ludzi. Narazie Dalton, Gay-Lussac, Davy, Berzelius, Wollaston, Gmelin, i in. zarzucali sobie wzajemnie „rozsiewanie niesprawdzalnych spekulacji myślowych". Kolejno za punkt wyjścia do oznaczania ciężarów atomowych, pod wpływem uwag krytycznych Davy'ego i Liebiga, przyjmowano ciężar atomowy wodoru jako równy 1 lub ciężar atomowy tlenu jako równy 1, 8, 10, 16, 100.

Gdy w 1808 r. Gay-Lussac w celu wyjaśnienia swoich tez przytoczył, że z jednej objętości azotu i jednej objętości tlenu, znajdujących się w obu przypadkach w identycznych warunkach ciśnienia i temperatury, tworzą się dwie objętości tlenku azotu, Dalton w błędnym mniemaniu, że Gay-Lussac zakłada możliwość rozdzielania się atomów na części zaatakował go bardzo ostro, chociaż sam fakt łatwo było stwierdzić doświadczalnie. Nieporozumienie to mogła też wyjaśnić w sposób prosty hipoteza Avogadry z 1811., ale nie zwracano na nią narazie większej uwagi. Również pomiędzy Proustem a Bertholletem rozegrała się na początku XIX w. ostra, a zarazem błyskotliwa polemika; Berthollet przeczył mianowicie zdecydowanie głoszonemu przez Prousta prawu „stosunków stałych", choć po upływie 8 lat okazało się niezbicie, że słuszność była po stronie Prousta.

Wielki autorytet w ówczesnym świecie naukowym J. J. Berzelius był równocześnie mistrzem kontrowersji i sporów, mimo że dość często nie miał wcale racji. Tak np. był wyznawcą błędnej teorii, że związki organiczne tworzą się przy współdziałaniu siły życiowej *vis vitalis* toteż nigdy nie mogą być wytwarzane syntetycznie. W konsekwencji odmawiał wartości naukowej pracom Wöhlera, dotyczącym syntezy mocznika. Berzelius przeczył również możliwości istnienia cząsteczki wodoru, gdyż dwa dodatnio naładowane atomy nie mogą przyciągać się; skrytykował następnie bezapelacyjnie doświadczenie Dumasa o podstawianiu atomów wodoru w związkach organicznych, np. chlorem; wykluczał — przynajmniej początkowo — aby różne związki organiczne mogły mieć identyczny skład elementarny; opinię tę podzielał przez pewien czas również i Liebig. Nieco później Liebig i Wöhler odkryli trzy różne związki o sumarycznym wzorze HOCN; wówczas Berzelius zarzucił, że analizy ilościowe wykonane zostały niedokładnie. Podobnie zlekceważył, a nawet potępił wywód Döbereinera o istnieniu określonych grup pierwiastków, spokrewnionych bliżej ze sobą, nazywając te spostrzeżenia produktami czystej fantazji. Gdy zaś Gay-Lussac, Thénard i Davy na podstawie licznych badań wypowiedzieli przypuszczenie, że chlor jest pierwiastkiem, wówczas Berzelius oraz Schönbein przeciwstawili się temu, a Berzelius podtrzymywał przez 10 lat tj. do 1821 r. opinię, że chlor jest

związkiem chemicznym. Poza tym np. Dumas utrzymywał, że teoria „rodników" Berzeliusa jest pozbawiona wszelkiego sensu. W wielu innych sprawach dotyczących np. pochodzenia azotu asymilowanego przez rośliny wywiązywały się długotrwałe i ostre spory pomiędzy Liebigiem i Berzeliusem, Liebigiem i Lawesem oraz Gilbertem itd.

Na szczęście te wszystkie „krótkie spięcia" pomiędzy czołowymi osobistościami tego okresu nie stały się hamulcem dalszego postępu i rozwoju chemii. I w tym przypadku walka poglądów — w myśl starogreckiej zasady — stała się raczej zarodkiem nowej twórczości. W każdym zaś razie ponad wszystkimi kontrowersjami i wątpliwościami górowały dwa nowe i charakterystyczne zjawiska. Przede wszystkim więc po raz pierwszy zaczyna działać mechanizm typu naczyń połączonych pomiędzy osiągnięciami naukowymi i praktyką przemysłową. Ma to oczywiście ważne konsekwencje, które ujawnią się w całej pełni w okresie następnym. Po wtóre produkcja chemiczna rozsadza obecnie szybko i definitywnie dawne ramy produkcji rzemieślniczej lub laboratoryjnej i staje się ważką wielkością ekonomiczną, która z upływem każdego następnego dziesięciolecia rozrasta się z coraz większym dynamizmem. Fakty te można stwierdzić wyraźnie w różnych dziedzinach wytwórczości związanej z chemią bezpośrednio, a nawet tylko pośrednio.

Tak więc w zakresie metalurgii pomimo niewątpliwej przewagi ilościowej tradycyjnych gałęzi wytwórczości można zaobserwować zjawisko systematycznego przenikania z pracowni chemicznych nowych zdobyczy naukowych. W związku z tym nie tylko rozrasta się produkcja metali kolorowych, lecz budzi się również zainteresowanie dla nowoodkrytych metali, jak wolfram, wanad, tantal, kadm itp., oraz dla nowych metod przetwórczych. Zapotrzebowanie Europy na cynk — zresztą dość skromne w tym okresie — było pokrywane aż do końca XIII w. prawie wyłącznie przez dowóz z Indii. W 1789 r. Ruhberg, pochodzący z Pszczyny na Górnym Śląsku, mistrz huty szklanej w miejscowości Wesoła, opracował „muflową" metodę produkcji cynku, która okazała się dość ekonomiczna. Na tej podstawie w okręgu chorzowskim zaczęły powstawać huty cynku. Nieco później, bo w 1837 r., podjęto tę wytwórczość w Belgii, a w roku następnym również w USA. Po upływie kilku dziesięcioleci hutnictwo cynku w Belgii obok hutnictwa śląskiego zajmowało przodujące stanowisko w świecie.

W 1804 r. Richter uzyskał czysty nikiel, zaś w 20 lat później podjęta została wytwórczość tego metalu na skalę przemysłową. Od 1850 r. różne państwa za przykładem Szwajcarii wprowadzały kolejno do obiegu monety niklowe. Kadm odkryty przez Hermanna w 1818 r., wyodrębniony i nazwany przez F. Stromeyera, był otrzymywany na skalę przemysłową już od 1827 r. na Górnym Śląsku. Trudniej torował sobie drogę od

pracowni naukowych do wytwórni przemysłowej glin. Od początku XIX w. podejmowano w tym kierunku liczne próby laboratoryjne. Zagadnienie to przyciągało uwagę Davy'ego, a także i innych badaczy, przede wszystkim H. Ch. Oersteda, profesora fizyki w Kopenhadze. Nieco znaczniejsze ilości metalicznego glinu wydzielił w 1827 r. Fr. Wöhler, działając potasem na chlorek glinu. Większe powodzenie miał w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku H. Sainte-Claire Deville, który drogi potas zastąpił tańszym sodem, a w 1854 r. wspólnie z Bunsenem zapoczątkował próby elektrolitycznego rozkładu stopionego chlorku sodowo-glinowego. Małe wytwórnie tego niezwykłego metalu powstały w Salindres, Londynie itd.; cena 1 kg aluminium spadła z 2400 mk na 200 mk, a wystawienie tego „srebra z gliny" wywołało na światowej wystawie w Paryżu w 1855 r. dużą sensację. Niemniej jednak trzeba było czekać jeszcze ok. 30 lat na poważniejsze wyniki przemysłowe w tej dziedzinie. W pierwszym dziesięcioleciu XIX w. M. del Rio odkrył wanad w meksykańskich rudach ołowiu a Wollaston, Berzelius i Roscoe podjęli badania nad tantalem i jego rudami. W 1815 r. Hassenfratz wytwarzał już stopy żelaza i wolframu, a Johnson i Pichon podjęli w 1853 r. próbę redukowania rud żelaznych w elektrycznych piecach łukowych.

Tendencje racjonalizacyjne oraz wyniki badań naukowych wywierają silny wpływ również na technologię kwasu siarkowego. Problematyka w tej dziedzinie jest bardzo wyraźna i dotyczy trzech fundamentalnych zagadnień. Po pierwsze idzie tu o surowiec przetwórczy. Dotychczas była nim siarka sycylijska; w ciągu jednego, 1838 r. ceny jej wzrosły o 60—70%. Racja ekonomiczna postawiła niezwłocznie na porządku dziennym kwestię technologiczną. Próby zastąpienia siarki przez siarczki takich metali jak: żelaza, miedzi cynku i ołowiu datowały się już od dawna; pierwszy angielski patent na prażenie pirytów został udzielony Hillowi i Haddockowi w 1818 r. Również w Niemczech czyniono wysiłki w kierunku zastąpienia siarki pirytami. Ostatecznie w 1839 r. wszystkie wahania i wątpliwości przełamał J. Muspratt w Anglii, opierając produkcję kwasu siarkowego w Newton i in. wytwórniach na prażeniu pirytów. Dwa dalsze zagadnienia mają charakter wybitnie technologiczny. W 1827 r. Gay-Lussac udoskonalił metodę produkcji kwasu komorowego, dołączając urządzenie do zatrzymywania cennych tlenków azotu; pierwsze urządzenie tego typu — nazywane powszechnie wieżą Gay-Lussaca — zostało zainstalowane w fabryce kwasu w St. Gobain, w 1835 r. [10]. Od 1842 r. zaś zaczęto powszechnie stosować wieże Gay-Lussaca w fabrykach kwasu siarkowego. Należy zaznaczyć, że już w tym okresie zjawiły się

[10] Ullmann F. podaje inne miejsce i inną datę w *Enzyklopädie der technischen Chemie*.

pierwsze pomysły opracowania metody kontaktowej do produkcji kwasu. W 1831 r. P. Phillips uzyskał w Anglii patent na wytwarzanie stężonego kwasu przy pomocy katalizatora (platyny) bez stosowania komór ołowianych i dodatku drogiej wówczas saletry. Ten sam temat opracował Döbereiner, później H. G. Magnus, a w latach pięćdziesiątych wypróbowano szereg różnych substancji kontaktowych, w tym azbest platynowany, odpowiednich do utleniania dwutlenku na trójtlenek siarki. Wöhler proponował przemysłowe zastosowanie tej metody.

Szczególnie ważną pozycję zajmuje w tym okresie produkcja sody metodą Leblanca, realizowana po wojnach napoleońskich w Anglii i we Francji. W 1823 r. J. Muspratt uruchamia w Liverpoolu pierwszą większą wytwórnię sody; w 21 lat później Wissenfeld zbudował koło Glasgow pierwszą dużą fabrykę sody kaustycznej. Mnożące się szybko fabryki sody w świecie stały się wielkim motorem rozwoju również innych gałęzi przemysłu chemicznego. Z jednej strony konsekwencją produkcji sody było powstanie i szybki rozwój produkcji trzech kwasów mineralnych oraz chloru, podchlorynów, wodorotlenku sodowego i substancji bielących; z drugiej strony potrzeby tych przemysłów stały się pośrednio bodźcem do rozbudowy i udoskonalenia aparatury chemicznej [11]. Jest rzeczą znamienną, że zanim jeszcze przemysł sodowy okrzepł, już pojawiły się silne tendencje racjonalizacyjne. Znany fizyk francuski, badacz interferencji fal świetlnych, A. J. Fresnel w 1811 r. usiłuje otrzymać sodę działając amoniakiem i dwutlenkiem węgla na roztwór soli. Analogiczną zasadę opatentowali w 1838 r. Dyer i Hemming. W latach czterdziestych ubiegłego wieku Gossage i Deacon podejmują próby rozwiązania tego zagadnienia w Anglii, Rolland i Schlössing prowadzą identyczne prace we Francji, Kunheim w Niemczech, a Muspratt konstruuje nawet pierwszą instalację próbną do produkcji sody metodą amoniakalną. Wszystkie te usiłowania nie doprowadziły jednak w tym okresie do pożądanego celu.

Podjęcie produkcji wapna bielącego w Glasgow w 1799 r. wywołało zainteresowanie w przemyśle włókienniczym świata. Toteż od 1808 r. produkcja „proszku bielącego" wzrasta dość szybko, a ok. 1830 r. dawne metody bielenia wyszły całkowicie z praktyki. w 1840 r. Schönbein odkrył bielące działanie ozonu i wykazał, że siła bielenia włókna jest ok. 40 razy wyższa niż przy stosowaniu wapna bielącego.

Jednym z wielkich osiągnięć tego okresu jest zapoczątkowanie mineralnego nawożenia gleb. Już w latach trzydziestych, pod wpływem prac Liebiga a także de Saussure'a i Boussingaulta podjęto próby nawo-

[11] Porównaj Zawadzki J., *Technologia chemiczna nieorganiczna*, t. II, PWT, Warszawa 1952.

żenia azotowego saletrą chilijską [12]. Wyniki były korzystne. Równocześnie wyjaśniono, że działanie nawozowe mączki kostnej nie polega, jak mniemano, na zawartości w niej części organicznych, ale wyłącznie na obecności fosforanu wapniowego. Liebig wskazał zaś, że dla skuteczności nawożenia wymagane jest doprowadzenie do gleby związków fosforowych w postaci łatwo przyswajalnej, a więc rozpuszczalnej w wodzie. To zalecenie znalazło niebawem kilku realizatorów. Jednym z pierwszych był Fleming, pracownik fizyczny, pochodzący z okręgu Suffolk w Wielkiej Brytanii, który miejscowe fosforyty zadawał kwasem siarkowym, zwiększając w ten sposób stopień przyswajalności fosforu. Rozumiejąc doniosłość tego zagadnienia lekarz dubliński James Murray opatentował w 1842 r. metodę rozkładania fosforytów kwasem siarkowym. Na tej zasadzie poczęto w Anglii przetwarzać kości i fosforyty. Tak powstały pierwsze fabryczki superfosfatu (np. w okolicy Bristolu, założona przez Proctora i Rylanda, w Deptford z inicjatywy J. B. Lawesa). Właściwy rozwój tego przemysłu rozpoczyna się w 1846 r., gdy Muspratt wspólnie z Lawesem założyli większą fabrykę w Liverpoolu. W parę lat później uruchomiona została analogiczna wytwórnia w Baltimore, w USA. W 1854 funkcjonowało już w Wielkiej Brytanii 6 fabryk przetwarzających łącznie ok. 30 tys. ton rocznie kości i fosforytów; w następnym dziesięcioleciu przemysł ten rozwinął się bujnie w wielu innych krajach.

Praktycznie pierwszorzędne znaczenie miały pionierskie wysiłki w dziedzinie chemicznego inicjowania ognia, podjęte w tym czasie i uwieńczone ostatecznie sukcesem. Już w 1805 r. Chancel we Francji wytwarzał zapałki składające się z drewienka z główką uformowaną z mieszaniny chloranu potasu, siarki lub cukru i gumy arabskiej, która po zetknięciu się ze stężonym kwasem siarkowym zapalała się. Gdy do paczki takich zapałek zaczęto dodawać małe naczynko z azbestem nasyconym kwasem siarkowym, znalazły one nieco szerszy zbyt we Francji i Anglii; nazywano je w latach dwudziestych szumnie „płomieniem Prometeusza" albo „lucyferami". W tym samym czasie (1823 r.) znalazły się w sprzedaży zapalniczki Döbereinera z gąbką platynową, która powodowała zapłon mieszaniny wodoru z powietrzem. Na lata trzydzieste przypada nowy wynalazek zapałki o główce fosforowej lub fosforowo-siarkowej, zapalającej się przy pocieraniu o szorstką powierzchnię. Autorstwo tego pomysłu nie jest ostatecznie wyjaśnione i w różnych krajach przypisuje się je różnym osobom [13]. Produkcja i rozpowszechnianie tych zapałek były w niektórych krajach zakazane ze względu na ich trujące

[12] Pawlikowski S., *Powietrze i woda rządzą chemią*, PWN, Warszawa 1959, str. 127.

[13] Ullmann F., *Enzyklopädie der technischen Chemie* t. XII, Zündhölzer. Verl. Urban u. Schwarzenberg, Berlin — Wien 1919.

właściwości i zbyt łatwą zapalność. W 1845 r. A. Schrötter odkrył czerwony fosfor. Wyzyskał to w 1848 r. R. Bottger, produkując zapałki bezpieczne; ich główka składała się z chloranu potasu, siarczku antymonu oraz arabskiej gumy i zapalała się przy pocieraniu o specjalnie spreparowaną powierzchnię, zawierającą w swoim składzie czerwony fosfór. Na podstawie własnego patentu Lundströma, pierwsza taka wytwórnia powstała w 1855 r. w Szwecji, w Jönköping. Ostatecznie „zapałki szwedzkie" stopniowo wyparły z użycia wszelkie inne typy zapałek. Parę słów można tu dodać o produkcji ogni sztucznych i wojennych rakiet zapalających. Rakiety zapalające zastosowali Anglicy w 1806 r. przy oblężeniu portu Boulogne i w 1809 r. podczas oblężenia Kopenhagi. Prusy od 1817 r. posiadały sporą wytwórnię ogni sztucznych i rakiet w Spandawie, podporządkowaną władzom wojskowym [14].

Wreszcie z obszernego materiału historycznego, dotyczącego rozwoju chemii i technologii nieorganicznej warto napomknąć jeszcze o produkcji cementu portlandzkiego. Czołowym pionierem tej produkcji był murarz J. Aspdin w latach dwudziestych ubiegłego wieku. Technologię tej fabrykacji przepracował w ćwierć wieku później J. C. Johnson, a udoskonalił L. J. Vicat we Francji. Fabryki ultramaryny powstawały od 1829 r. najpierw we Francji, a później w Niemczech, np. w Miśni, Norymberdze itd. W Schweinfurcie zaś w 1814 r. uruchomiono wyrób farby zielonej, zwanej zielenią schweinfurcką (octan miedziowo-arsenowy). Pewne, narazie dość ograniczone znaczenie zyskały wysiłki skraplania gazów. Northmore stosując wysokie ciśnienia zdołał skroplić: chlor, chlorowodór, dwutlenek siarki; Faraday skroplił: amoniak, siarkowodór, dwutlenek węgla i tlenek azotu. Nie zdołano jednak skroplić wówczas powietrza, wodoru ani azotu czy tlenu. Przekazując ten problem przyszłości, gazy te określono jako „trwałe".

Trzeba przyznać, że technologia organiczna tak przełomowych i wszechstronnych osiągnięć w tym czasie nie może jeszcze zarejestrować. Niemniej jednak niezależnie nawet od sukcesów w zakresie kilku gałęzi przemysłu organicznego narastają nowe, podstawowe możliwości materiałowe oraz takie wstępne rozwiązania metodologiczne, na których oprze się w najbliższej przyszłości potężny gmach rozwoju całej chemii organicznej. Tak więc i ten rozdział chemii ilustruje tezę, że nauka wyprzedza z reguły o pewien dystans osiągnięcia praktyczne.

Tak np. szczególną uwagę skierowano wówczas na smołę i gaz węglowy, z których wydzielono takie substancje jak benzen, toluen, naftalen, zasady pirydynowe i chinolinowe, fenol i jego homologi, pirol, kumen, antracen, dwufenyl i in. Tacy badacze, jak Dumas, Chevreul, Liebig,

[14] Ullmann F. *op. cit.*, t. V, str. 506.

Wöhler, Mitscherlich, Piria, Schönbein, Zinin, Kolbe, Wurtz, Runge, Sobrero, Walter i w. in. wytyczyli najcelniejsze drogowskazy dla różnych reakcji tych związków i stwierdzili wprost nieskończone łańcuchy możliwych przemian. Aby ocenić należycie wartość kładzonych wówczas kamieni węgielnych pod rozwój przemysłu organicznego, wystarczy przytoczyć osiągnięcia np. Mikołaja Zinina (1812—1880) profesora chemii w Kazaniu i Petersburgu. W 1841 r. przeprowadził on redukcję nitrobenzenu na anilinę. W 1843 r. A. W. Hofmann udowodnił identyczność produktu nazywanego *krystaliną* przez Unverdorbena (1826 r.), *kyanolem* przez Rungego (1834 r.), *benzidamem* przez Zinina i wreszcie *aniliną* przez Fritschego (1841 r.); nieco później Hofmann stwierdził, że droga odkryta przez Zinina umożliwiła przemysłową produkcję aniliny i z tego punktu widzenia stała się historycznym osiągnięciem o podstawowym znaczeniu dla syntez organicznych [15]. W 1845 r. Zinin odkrył jeszcze jedną reakcję o dużym znaczeniu przemysłowym, tzw. reakcję przegrupowania benzydynowego. Trzeba jednak podkreślić, że równocześnie cały sztab uczonych w różnych krajach przebadał i wypracował setki i tysiące reakcji i metod przetwórczych, które później znalazły szerokie zastosowanie przemysłowe.

W związku z tym powstający pod koniec XVIII w. i rozkwitający w XIX w. przemysł gazowniczy i koksowniczy może być oceniony jako pozycja wybitnie pionierska w zakresie technologii organicznej. Przede wszystkim zaś przemysł ten uczynił z węgla kamiennego i jego pochodnych jeden z najważniejszych surowców chemicznych świata. Historia rozwoju gazownictwa i koksownictwa jest jednak tak bogata, że w sposób właściwy może być traktowana chyba tylko w ujęciu monograficznym [16]. Tu zaś trzeba zinwentaryzować najistotniejsze fakty z tej historii, w największym skrócie. Mechanizacja produkcji na przełomie XVIII i XIX w. była głównym bodźcem rozwoju sztucznego oświetlenia. Pierwszą wielką realizacją tej tendencji było oświetlenie gazowe. Wytrwała praca takich pionierów gazownictwa, jak J. P. Minckelers, W. Murdoch, Ph. Lebon, Clegg, Henfrey, Pettenkofer, Taylor, Donovan, Lowe, Kirkham i in., pokonała wszystkie konserwatywne opory przeciwne sztucznemu oświetleniu i największe trudności technologiczne. W 1813 r. część ulic Londynu otrzymała oświetlenie gazowe, a sieć gazociągów została rozbudowana dość znacznie [17]. Za tym przykładem poszły kolejno inne wielkie ośrodki miejskie. W 1825 r. kilkadziesiąt miast w Anglii i na

[15] Lockemann G., *Geschichte der Chemie*, Goeschen-Sammlung, t. II, Berlin 1955.

[16] Strache H., *Gasbeleuchtung u. Gasindustrie*, F. Vieveg u. Sohn, Braunschweig 1913; Brückner H., *Handbuch der Gasindustrie*, R. Oldenbourg, München 1937—1940; Dieszalit G. I., *Kurs tiechnologii koksochimiczeskowo proizwodstwa*, Charkow 1947.

[17] Jarzyński A., *Węgiel — Chemia*, PWN, Warszawa 1957, str. 47.

kontynencie europejskim posiadało oświetlenie gazowe. Ten pomyślny rozwój wiązał się ściśle z faktem, że już w pierwszych latach XIX w. S. Clegg opracował całą podstawową aparaturę fabryczną, a więc piece retortowe, odbieralniki, chłodnice, oczyszczalnie gazu, regulatory, zbiorniki itd. Równolegle były realizowane i inne pokrewne pomysły. W 1815 r. Taylor uzyskał patent angielski na sposób wytwarzania gazu olejowego, a w 8 lat później 11 miast Anglii posługiwało się tym gazem. W 1823 r. Vere i Crane opatentowali metodę wytwarzania gazu wodnego, a w 1831 r. Lowe zastosował tzw. system dwufazowy. W tym samym czasie Donovan zaproponował nawęglanie gazu wodnego. W okresie między 1834 i 1845 r. Dublin oraz kilka miast francuskich i belgijskich stosowało nawęglany gaz wodny do oświetlania. Podejmowano też w tym czasie próby podniesienia siły świetlnej różnych palników gazowych. Tak np. Gillard zastosował w Narbonie platynowe siateczki żarowe, rozgrzewane gazem wodnym; wcześniej, bo w 1826 r. Drummond rozżarzał w tym celu płytki z tlenku wapniowego, a Tessie du Motay zastąpił z pewnym efektem wapno palone cyrkonem. Na początku lat pięćdziesiątych Kirkham udoskonalił system dwufazowy Lowego, wytwarzając gaz wodny w dwóch generatorach, pracujących w różnych fazach ruchowych.

Korzystne wyniki osiągane przez gazownictwo stały się podnietą dla innych, pokrewnych koncepcji i rozwiązań. W 1809 r. Aubertot podejmuje — na razie bez praktycznego skutku — pierwsze próby ujęcia i zużytkowania dużych ilości gazów niskokalorycznych, tworzących się jako produkt odpadkowy w procesie wielkopiecowym. W 1837 r. tę myśl zrealizował Faber du Faur, a w pięć lat później wiele hut rozporządzało już urządzeniami do odciągania gazów wielkopiecowych. Wtórną konsekwencją tego osiągnięcia było podjęcie od 1839 r. prób samodzielnego zgazowania najpierw torfu, później drewna, koksu lub antracytu w urządzeniach generatorowych. Pod koniec tego okresu dokonał się też znaczny postęp w koksownictwie; mielerze i piece ulowe zostały zastąpione pionowymi komorami Appolta o wysokości 5 m i podstawie 126×43 cm. Uzysk tzw. produktów ubocznych przy odgazowaniu węgla zwiększał się; toteż od lat trzydziestych zaczęły powstawać narazie dość prymitywne destylarnie smoły węglowej i przetwórnie wody amoniakalnej.

Drugą gałęzią przemysłu organicznego, która w tym okresie rozwinęła się poważnie, było cukrownictwo, oparte o przerób buraków. Pierwszą cukrownią uruchomioną na przełomie XVIII i XIX w. w okręgu wrocławskim była fabryczka Fr. K. Achardа. Nie miała ona szczególnego powodzenia gospodarczego, ale jej twórca dokonał dzieła naprawdę pionierskiego. Achard był umysełm twórczym i nowoczesnym; z największą wytrwałością pracował nie tylko nad udoskonaleniem metody i apa-

ratury przetwórczej, ale stał się również bojowym propagatorem racjonalnego wykorzystania wszystkich produktów ubocznych i odpadkowych. Tak więc wytłoki buraczane przeznaczył do wykarmu bydła, szumowiny użyte zostały do tuczenia nierogacizny, a melasę przerabiał metodą fermentacyjną na rum. Na podstawie takich drogowskazów przemysł cukrowniczy od 1812 r. rozrasta się coraz intensywniej w całej zachodniej Europie, a np. Francja w 1830 r. ma już ok. 50 czynnych cukrowni.

Bardzo znamienny przełom dokonał się w tym czasie w zakresie stosowania kauczuku naturalnego. K. Macintosh zyskał duże powodzenie podejmując w 1823 r. wyrób nieprzemakalnych tkanin impregnowanych kauczukiem. Istotny rozwój tego przemysłu zaznaczył się jednak dopiero wówczas, gdy K. Goodyear w latach 1839—41 odkrył i opracował sposób wulkanizacji kauczuku na gorąco za pomocą siarki. W rezultacie uzyskano doskonałe elastyczne tworzywo, niekleiste, odporne na działanie środków chemicznych i łatwe do obróbki mechanicznej. Swoje osiągnięcie Goodyear usiłował zachować w tajemnicy; tymczasem jednak w Anglii do podobnych wyników doszedł Hancock, ustalił nazwę wulkanizacji i w 1843 r. opatentował tę metodę. Niebawem, bo w 1846 r., odkryto sposób wulkanizowania kauczuku na zimno za pomocą chlorku siarki. Od chwili gdy Hancock skonstruował odpowiednie maszyny i rozpoczął wyrób galanterii kauczukowej, przemysł ten — nie przeczuwając oczywiście ani dalszego rozwoju ani przyszłego znaczenia gospodarczego — rozpoczął swój wielki start technologiczny.

Ponadto i w tej dziedzinie można zarejestrować wiele nowych dokonań, tymczasem jeszcze drugorzędnych, ale kryjących w sobie potencjalnie duże możliwości rozwoju. Tak np. w latach 1845—46 r. Chr. F. Schönbein (1799—1868) wspólnie z R. Bottgerem przeprowadził reakcję nitrowania celulozy i uzyskał dwa nowe produkty. Zatrzymując proces nitrowania na niższym stopniu otrzymał Schönbein produkt, który zmieszany z kamforą dał w przyszłości pierwsze ważne tworzywo sztuczne, celuloid. Posuwając proces nitrowania dalej uzyskał on substancję nierozpuszczalną w mieszaninie alkoholu i eteru, o właściwościach wybuchowych, nazwaną bawełną strzelniczą. W ten sposób otwarty został nowy dział produkcyjny, organicznych materiałów wybuchowych. W 1847 r. zaś A. Sobrero, profesor w Turynie, odkrył najważniejszy organiczny materiał „kruszący", nitroglicerynę.

Założone też zostały w latach trzydziestych i czterdziestych ub. w. podwaliny pod rozwój fotografiki. Twórcami tej techniki byli J. N. Niepcé oraz malarz paryski L. J. Daguerre, który w 1839 r. uzyskał pierwsze odbitki przy pomocy ciemni optycznej. Daguerre wytwarzał płytki światłoczułe działając parami jodu na polerowane blaszki srebrne. Odtąd udoskonalenia szły za udoskonaleniami. Goddard działał bromem na srebro,

a Claudel chlorem; w obu przypadkach wzrosła wrażliwość płytek na działanie światła. W. H. Talbot wprowadził do użytku papiery światłoczułe, Niepce de St. Victor w 1847 r. zastosował po raz pierwszy do celów fotograficznych płytki szklane, powleczone warstwą światłoczułą, a Le Gray w dwa lata później wytwarzał błony z kolodium po zemulgowaniu z solą światłoczułą.

Rozszerzając zasięg analizy, w każdej prawie dziedzinie chemii można zanotować dość znaczny dorobek twórczy. Tak np. po wyodrębnieniu w 1817 r. morfiny z opium przez aptekarza Fr. Sertürnera, odkryto do 1851 r. szereg innych alkaloidów, jak strychnina, brucyna, chinina, kofeina, nikotyna, atropina i in. Niemniej ważnym wydarzeniem było wydzielenie z korzeni marzanny w 1826 r. przez Robiqueta i Colina dwóch barwników, tj. alizaryny i purpuryny. Można też przytoczyć, że na podstawie prac naukowych Lampadiusa, Clémenta i Desormesa, Thénarda i Vauquelina, Schrötter uruchomił w 1838 r. produkcję dwusiarczku węgla, stosowanego do ekstrakcji tłuszczów, a na podstawie patentów Chevreula i Gay-Lussaca, dotyczących wydzielania kwasów tłuszczowych, oraz ulepszeń de Millyego i Motarda podjęto wyrób świec stearynowych, co było wówczas poczytywane za duże osiągnięcie; w związku z pionierską akcją Fr. Apperta od 1845 r. powstają różne fabryki konserw m. in. w Lubece, Frankfurcie n. M. itd.

Reasumując te osiągnięcia i zdobycze trzeba więc skonstatować, że w pierwszej połowie XIX w. przemysł chemiczny staje się coraz bardziej samodzielną i ważką wielkością ekonomiczną. Proces ten biegł równocześnie, chociaż nierównomiernie w kilku krajach. Warunki ogólnogospodarcze, przyjazna atmosfera dla rozkwitu nauk, dalekowzroczna i planowa polityka państwowa, rozwinięta wszechstronnie sieć komunikacyjna, dostęp do właściwych surowców i źródeł energetycznych, a przede wszystkim rozumna i wciąż kontrolowana inicjatywa ludzka decydują o dynamice rozwojowej tego przemysłu.

Już na przełomie XVIII i XIX stulecia we Francji przy czynnym współdziałaniu Bertholleta i Dumasa następuje szybki i wyraźny postęp w zakresie przemysłu chemicznego. W okresie cesarstwa wielką rolę w wytworzeniu sprzyjającej atmosfery dla rozwoju tego przemysłu odegrało Société d'Encouragement pour l'Industrie et Commerce przez propagandę słowa żywego i pisanego, wystawy i popieranie szkolnictwa zawodowego. Gdy jeszcze w 1789 r. przemysł chemiczny we Francji nie odgrywał praktycznie żadnej roli, to w kilkanaście lat później rezultaty były imponujące. Ok. 6 tysięcy „plantacji" saletry dostarczało rocznie 80 tys. ton azotanów; uruchomiono prażalnie pirytów, rozwinięto produkcję ałunu, salmiaku, różnych soli, zrozumiano potrzebę budowy fabryk sody, uprawiano buraki cukrowe. Na północy Francji stare przed-

siębiorstwo chemiczne w St. Gobain, sterowane teraz sprawnie przez Gay-Lussaca i N. Clémenta rozwijało produkcję kwasu siarkowego, sody itd. Nowe, większe fabryki chemiczne powstawały w Le Havre, St. Denis, Marsylii, Rouen, w Strasburgu i w innych ośrodkach. Ok. 1820 r. roczną produkcję głównych chemikaliów we Francji szacowano na 30 tys. ton kwasu siarkowego, 10—15 tys. ton sody, 600 ton kwasu solnego. W 1825 r. dla produkcji kwasu siarkowego i sody założone zostało w Lille przez Kuhlmana niewielkie przedsiębiorstwo; w kilkanaście lat później było ono już jedną z największych fabryk superfosfatu. W fabryce tej rozkładano kości odpadkowym kwasem solnym, uzyskując nawozy fosforowe. Wytwarzano tu również węgiel kostny, stosowany do odbarwiania wywaru buraczanego w cukrowniach. W 1830 r., w samym tylko departamencie Bouches-du-Rhône czynnych było ponad 20 fabryk sody.

W Wielkiej Brytanii, w kraju wówczas najbardziej uprzemysłowionym w świecie, sprawy przemysłu chemicznego szły na początku okresu dość kulawo. Produkcja kwasu siarkowego w 1820 r. dochodziła do 3 tys. ton a produkcja sody nie przekraczała kilkuset ton rocznie. W porównaniu z produkcją francuską były to więc ilości znikome. Przemysł chemiczny Anglii działał w trudnych warunkach. Tak np. akcyza od tony soli wynosiła 30 funtów szterlingów. Komisje Izby Gmin kołatały bezskutecznie o zniesienie obciążenia hamującego rozwój przemysłu chemicznego. Ale — jak często w historii Anglii — zjawili się i teraz ludzie nowi, przedsiębiorczy i zdolni do podjęcia radykalnych decyzji. Takim był np. Charles Tennant (1768—1838), który wprowadził w Anglii bielenie włókien chlorem i szereg innych nowości. Założył on nową fabrykę kwasu siarkowego, sody i proszków bielących. Początek był więcej niż skromny; w 1801 r. fabryka ta wytworzyła niecałe 100 ton proszku bielącego, zaś w 16 lat później niedużo więcej surowej sody. W latach następnych przybył bardzo aktywny pionier przemysłu chemicznego, James Muspratt (1793—1886), założyciel fabryk sody, kwasu siarkowego, a przede wszystkim superfosfatów. Przełomowe jednak znaczenie miał fakt objęcia stanowiska szefa *Board of Trade* przez W. Huskissona, znanego w historii gospodarczej z wielu wybitnych osiągnięć techniczno-ekonomicznych. Podstawowe postulaty chemii zostały teraz radykalnie załatwione: w latach 1823—1825 zniesiona została akcyza od soli oraz cła importowe na siarkę i saletrę. Rozwój przemysłu chemicznego ruszył odtąd raźniej naprzód. Muspratt podjął szeroką działalność w okręgu Lancashire; powstały dwa dalsze centra przemysłu chemicznego w Wielkiej Brytanii: Tyneside i Glasgow. Tennant zaś zwiększał systematycznie produkcję w swoich fabrykach i rozwijał szeroką działalność eksportową. Pod jego też wpływem prowadzona była wówczas bardzo rozsąd-

na, a więc i skuteczna polityka cen. 1 tona sody w 1810 r. kosztowała w Anglii więcej niż 59 funtów szterlingów, a w 1850 r. już 5 funtów i 10 szylingów[18]. W wyniku tej polityki rozwój fabryk Tennanta był błyskawiczny, a zakłady jego w St. Rollox w latach czterdziestych uważane były za największe przedsiębiorstwo chemiczne w Europie. Tymczasem Francja odwróciła się już od dawnych zasad, które przyniosły jej tyle realnych sukcesów. W latach 1830—1840 wprowadzono tam wysokie cła na siarkę i saletrę oraz akcyzę od soli. Skutki nie dały długo na siebie czekać. Obraz rozwojowy uległ odwróceniu. W 1850 r. produkcja sody we Francji dosięgała zaledwie 45 tys. ton, a w Wielkiej Brytanii przekroczyła 132 tys. ton[19]. Podobnie przedstawiała się ewolucja i w innych działach produkcji chemicznej. Tak np. wytwórczość mydła w Anglii wzrosła w tym czasie przeszło czterokrotnie; eksport sody brytyjskiej, który w 1847 r. wynosił 16,5 tys. ton w 1855 r. przekroczył 52 tys. ton. Niebawem można będzie skonstatować nowe zjawisko: oto na rynku francuskim obok brytyjskich poczynają pojawiać się coraz obficiej chemikalia niemieckie i szwajcarskie. Już od 1820 r. rozbudowa fabryk kwasu siarkowego, sody, bielidła, rafinowanej siarki, superfosfatu, produktów destylacji smoły węglowej, aniliny, alkaloidów, błękitu berlińskiego, porcelany, wielu soli nieorganicznych w okręgach Duisburga, Akwizgranu, Berlina i w wielu innych miejscowościach przybiera stopniowo na sile, a cały przemysł chemiczny przyjmuje charakter jakby „przemysłu narodowego". We Frankfurcie n. M. powstaje w 1850 r. Chemische Fabrik Griesheim i podejmuje produkcję nawozów sztucznych oraz aniliny; w okręgu Mannheim sadowią się liczne fabryki chemiczne, tworzące od 1854 r. poważny Związek Fabryk Chemicznych okręgu Mannheim. Jego członkowie i kierownicy stają się aktywnymi i świadomymi pionierami wielkiego rozwoju reprezentowanego przez siebie przemysłu. Również w Szwajcarii pod wpływem zarówno potężnego przemysłu włókienniczego, zgrupowanego dookoła Miluzy, jak i własnego włókiennictwa wyrasta w okręgu Bazylei dość znaczny przemysł kwasów mineralnych, alkaliów, podchlorynów itp. Tak więc i tu formuje się coraz wyraźniej zwarty okręg przemysłu chemicznego.

Pewną samodzielną rolę odegrał w tym czasie przemysł chemiczny w Czechach. Jednym z jego pionierów i inicjatorów był robotnik przemysłowy i samouk Jan Starck (1770—1841). Założył on w okolicy Pilzna fabryki kwasu siarkowego, ałunu i niektórych innych chemikaliów;

---

[18] Haber L. F. The Chemical Industry during the Nineteenth Century, Claredon Press, London-Oxford 1958, str. 15.

[19] *Ibidem*, str. 10.

po kilkunastu zaledwie latach doprowadził do tego, że z terenu Czech wyparł wszelką obcą konkurencję.

W tym samym czasie dokonał się start przemysłu chemicznego poza Europą, mianowicie w USA. Inicjatorem w okręgu Filadelfii był John Harrison. W 1827 r. założona została tam firma Ch. Lenning, a w 1831 r. Harrison Brothers and Co. Podjęły one produkcję sody, kwasów, ałunu, związków miedzi i cyny. Pierwsza z nich (Lenning) była w 1850 r. największym producentem chemicznym Stanów. Wcześniej, bo na samym początku XIX w. utworzone zostało przedsiębiorstwo Du Ponta, zajmujące się produkcją materiałów wybuchowych dla armii. Jeszcze kilka innych większych przedsiębiorstw chemicznych powstało w pierwszej połowie tegoż wieku w USA. Tak np. firma W. Davidson w okręgu Baltimore wytwarzała kwas siarkowy i superfosfat, zaś New York Chemical Manufacturing Co. ałun, kwasy, siny kamień i kilka preparatów farmaceutycznych. Charakterystycznym fragmentem było też założenie w 1830 r. specjalnego banku „chemicznego" dla finansowania rozwoju tego przemysłu.

Ostatecznie więc skok dokonany w tym okresie przez chemię teoretyczną i stosowaną jest relatywnie duży. Liczba substancji uważanych za pierwiastki chemiczne w 1800 r. nie przekraczała 34. W podręczniku Wöhlera *Grundriss der Chemie* z 1840 r. wymieniono 55 pierwiastków; w książce L. Gmelina z 1852 r. omawia się już 62 pierwiastki. Osiągnięcia w zakresie badań teoretyczno-poznawczych są bezspornie bardzo poważne. Znajomość wewnętrznej mechaniki procesów chemicznych została posunięta znacznie naprzód. Zbadano tak złożone zagadnienia, jak podstawy elektrochemii oraz chemii fizycznej. Analizę chemiczną wzbogacono o takie metody, jak analiza miareczkowa, spektralna i analiza elementarna związków organicznych. Przepracowano i rozwinięto reakcje katalityczne, fotochemiczne, hydrolityczne, fermentacyjne, poznano szereg ważnych reakcji organicznych, jak sulfonowanie, nitrowanie, redukcja, utlenianie, chlorowcowanie itd. Obalono dziesiątki fałszywych poglądów i twierdzeń, sprostowano błędne przypuszczenia o naturze chemicznej wody, chloru, obalono ostatecznie przekonanie, że związki organiczne powstają jakoby wyłącznie pod działaniem siły życiowej, co potwierdzono doświadczalnie przez syntezę wielu związków. W tym czasie rozbudowany został na niemałą skalę przemysł nieorganiczny, a równocześnie uformowano podwaliny pod przyszły rozwój przemysłu organicznego. Chemia związała się wówczas bezpośrednio z potrzebami życiowymi człowieka i społeczeństwa, dając do dyspozycji chemiczne środki lecznicze, cukier, papier, mydło, zapałki, gaz, nawozy sztuczne, szkło, cementy, wyroby kauczukowe, metale, skóry itd.

Na uwagę zasługuje również fakt, że chemicy z pierwszej połowy XIX w. wypowiedzieli niejedno przypuszczenie, które — odrzucone przez współczesnych — stało się bliskie nauce chemii w drugiej połowie XIX w. i w pierwszej połowie XX stulecia. W kilku przypadkach i w różnych formach wypowiadano mniemanie o szczególnym pokrewieństwie niektórych grup pierwiastków; rzucono też przypuszczenie o wspólnej, podstawowej cegiełce budowy atomów.

Na przestrzeni tych dziesięcioleci w sposób prawie niedostrzegalny rozegrał się wielki wewnętrzny proces: rozpadły się ostatnie więzy łączące chemię z jej przeszłością alchemiczną; natomiast zaczęły się bujnie rozrastać nowe więzy z przyszłą chemią, zapisującą na swoich kartach najwspanialsze osiągnięcia rozumu i pracy człowieka.

Rozdział VII

Bujny i szybki rozkwit chemii i technologii organicznej. 1856 — 1895

Znane są w historii przypadki, że pozornie drobne i drugorzędne przyczyny wywołują nieoczekiwanie łańcuch doniosłych i trwałych skutków. Takim przypadkiem, jak okazało się niebawem, było w dziejach chemii odkrycie i opatentowanie dnia 26.VIII.1856 r. przez Williama Perkina sztucznego barwnika nazwanego moweiną[1].

W. H. Perkin (1838—1907) mając zaledwie 17 lat został w 1855 r. asystentem A. W. Hofmanna i pod jego kierunkiem studiował chemię organiczną, która w przeciwieństwie do chemii nieorganicznej znajdowała się dopiero w stanie embrionalnym.

Wśród wielu chemików wciąż jeszcze było rozpowszechnione m. in. błędne przypuszczenie, że określonemu składowi elementarnemu odpowiada tylko jeden związek organiczny o zdefiniowanych właściwościach fizycznych i chemicznych. Tak rozumował i młody Perkin usiłując uzyskać syntetycznie ważny lek, chininę. Sądził on, że przez działanie dwuchromianem i kwasem siarkowym na anilinę zawierającą toluidynę osiągnie zamierzony cel. W procesie tym nie uzyskał jednak pożądanej chininy, ale nieznany, piękny purpurowy barwnik, moweinę. Główną zasługą Perkina było to, że właściwie ocenił wartość i znaczenie przypadkowego odkrycia i że usiłował wyciągnąć wszystkie konsekwencje z tego faktu. Osiągnięcie Perkina istotnie spotęgowało zainteresowanie się świata naukowego chemią organiczną. Była to bowiem wyraźna wskazówka, że w reakcji chemicznej można wytworzyć przeróżne nowe związki, a przede wszystkim barwniki syntetyczne, przewyższające pod względem żywości barwy znane od wieków barwniki naturalne. Gdy zaś dalsze odkrycia i próby praktyczne potwierdziły w zasadzie to przypusz-

---

[1] Trepka E. *Setna rocznica odkrycia moweiny*, Chemik, 9, 339. (1956).
Sherwood F. Taylor, *A History of Industrial Chemistry*, London 1957, str. 235.

czenie, wówczas rozpoczęła się istna lawina poszukiwań empirycznych i badań naukowych w dziedzinie chemii organicznej.

Aby zbadać mechanizm reakcji i przemian podobnych do tych, które doprowadziły PERKINA do odkrycia moweiny, należało przede wszystkim wyjaśnić budowę podstawowych materiałów wyjściowych. Pewne światło na te zagadnienia rzucały prace E. FRANKLANDA, dotyczące wartościowości pierwiastków i prace BERTHELOTA, uwieńczone w 1858 r. dokonaniem syntezy acetylenu z pierwiastków. Dopiero jednak rozważania teoretyczne A. KEKULÉGO (1829—1896), początkowo docenta w Heidelbergu, a od 1865 r. profesora w Bonn, o budowie cząsteczkowej związków organicznych, zapoczątkowane pod koniec lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku, oddały nieocenione usługi nauce i chemii stosowanej. KEKULE przyjmując czterowartościowość węgla jako punkt wyjściowy swoich rozważań, wykazał, że wszystkie związki organiczne można poczytywać za pochodne metanu, najprostszego, najbardziej symetrycznie zbudowanego i całkowicie „nasyconego" połączenia czterowartościowego węgla z jednowartościowymi wodorami. Następnie wskazał on na szczególną zdolność węgla do tworzenia w połączeniu z innymi pierwiastkami różnych postaci strukturalnych: łańcuchowych lub pierścieniowych, z których każda nadaje odmienny charakter chemiczny danym związkom. Teoria sformułowana przez KEKULÉGO była bardzo przekonywająca, wyjaśniała w sposób prosty i logiczny różnorodne, pozornie chaotyczne zjawiska, uzyskując konkretne potwierdzenia w dalszych badaniach, dzięki czemu została wyjątkowo szybko i powszechnie przyjęta. Po upływie ćwierćwiecza zaś bilans naukowy i przemysłowy szczególnie w zakresie pochodnych benzenu był już tak wielki i tak oczywisty, że w 1890 r. obchodzono „święto benzolowe" połączone z uznaniem dla twórczej myśli KEKULÉGO.

Tematyka ta pociąga również innych naukowców i badaczy, jak np. A. COUPER, profesor w Edynburgu, A. M. BUTLEROW profesor w Kazaniu i w Petersburgu, E. ERLENMEYER, J. LOSCHMIDT, A. LADENBURG, H. ARMSTRONG, L. MEYER, A. BAEYER i in. Szczególne znaczenie miały prace A. BUTLEROWA (1828—1886)[2], ucznia ZININA, który w 1861 r. ustalił szereg pojęć dotyczących strukturalnej budowy cząsteczek ciał organicznych, wyjaśnił zjawiska izomerii i przeprowadził wiele syntez, głównie węglowodanów. Jego działalność naukowa i pisarska nie tylko przyniosła mu szeroki rozgłos w świecie, ale zarazem spopularyzowała nową problematykę chemii organicznej. Duże znaczenie miało też ustalenie istnienia organicznych związków nienasyconych, o podwójnych i potrójnych wiązaniach przez wiedeńskiego profesora J. LOSCHMIDTA. Nieba-

[2] WAWRZYCZEK W., *Twórcy Chemii*, PWT, Warszawa 1959.

wem odkryto też pierwsze struktury heterocykliczne: F. F. Runge odnalazł w smole węglowej pirol, H. Limpricht izolował furan, a V. Meyer w 1882 r. tiofen. Wreszcie zagadnienie przestrzennej budowy cząsteczek wyjaśnili w tym czasie naukowcy tej miary, co van't Hoff, Le Bel, H. Wislicenus, V. Meyer, K. Laar i A. Baeyer.

Osiągnięcia naukowe lub gospodarcze uzyskane w jednej dziedzinie, skierowują najczęściej uwagę na inne, nierozwiązane zagadnienia. Tak wyłaniają się wciąż nowe i coraz obszerniejsze ugory do uprawy naukowej. W 1861 r. T. Graham rozwija naukę o koloidach, Wisznegradzki wykazuje związki genetyczne między alkaloidami a chinoliną i pirydyną, a O. Loew, nawiązując do wcześniejszych badań A. Butlerowa, wytworzył w 1886 r. syntetycznie cukry: formozę i maltozę. W cztery lata później E. Fischer wyjaśnił ostatecznie budowę cukrów i zsyntetyzował mannozę, fruktozę i glikozę.

Ogromne osiągnięcia naukowe notuje w tym czasie chemia ogólna i nieorganiczna oraz technologia chemiczna. W 1859 r. Kirchhoff i Bunsen opracowali podstawy analizy spektralnej, przy użyciu której później odkryto szereg nowych i ważnych pierwiastków; badania nad dysocjacją gazów w wyższych temperaturach przeprowadził w latach 1856—1866 St. Claire-Deville. Wielki wkład twórczej i dydaktycznej pracy w zakresie ustalenia podstawowych pojęć o budowie materii dał St. Cannizzaro (1826—1910), profesor chemii w Genui, a później w Palermo i w Rzymie. Już od długiego czasu trwał ostry spór pomiędzy uczonymi na tle teorii atomowej; Cannizzaro w 1860 r. dał tak jasną i logiczną wykładnię tej teorii, że praktycznie wszystkie nieporozumienia i spory zostały zlikwidowane. Wydobył on z zapomnienia hipotezę Avogadry, podkreślając rozróżnienie pomiędzy podzielnymi cząsteczkami i niepodzielnymi atomami. Za wzorzec przyjął on cząsteczkę wodoru, uzasadniając, że musi ona składać się co najmniej z dwóch atomów; wobec tego oznaczył ciężar cząsteczkowy wodoru jako równy liczbie dwa. Takie ujęcie pozwalało rozumieć zjawiska zachodzące przy wielu reakcjach bez naruszenia zasady niepodzielności atomów. Cannizzaro przeprowadził ponadto zdecydowaną walkę z różnymi błędami podtrzymywanymi jeszcze w nauce chemii i w związku z tym skorygował wiele wzorów chemicznych.

Tak spiętrzały się wciąż nowe osiągnięcia i odkrycia naukowe. Rok 1868 przyniósł zdobycz wprost sensacyjną na owe czasy, uzyskaną za pomocą analizy spektralnej: P. J. Janssen odkrył w widmie chromosfery słonecznej nowy, nieznany jeszcze na ziemi pierwiastek, który E. Frankland i N. Lockyer nazwali helem; dopiero w 23 lata później hel został odkryty na ziemi przez W. Ramsaya jako jeden z gazów szlachetnych. Duże znaczenie praktyczne miało odkrycie w 1869 r. przez T. Andrewsa

zjawiska tzw. stanu krytycznego, w którym zanika różnica w stanie skupienia pomiędzy cieczą a jej parą, oraz temperatury krytycznej, charakterystycznej dla każdego gazu, powyżej której dany gaz nawet przy zastosowaniu najwyższych ciśnień nie może być skroplony. W tym samym prawie czasie (1869—71) Dymitr Mendelejew ogłaszał słynną tablicę szeregującą pierwiastki według wzrastających ciężarów atomowych i według pokrewieństwa własności fizyko-chemicznych, dodając komentarz

Dymitr I. Mendelejew

naukowy, który zapoczątkował prawdziwie rewolucyjny przełom w poglądach na istotę materii i wewnętrzną budowę atomów. Do tej doniosłej sprawy wypadnie jeszcze w rozważaniach niniejszych powrócić. W latach siedemdziesiątych H. Wislicenus naświetla zjawisko izomerii geometrycznej; D. van der Waals tworzy naukę o stanach skupienia ciał i siłach wiążących, a J. W. Gibbs, profesor w New Haven, w związku z badaniami nad stanem równowagi w reakcjach odwracalnych ogłasza tzw. regułę faz. W następnym dziesięcioleciu badania nad stanami równowagi i nad prawami termochemicznymi zostały znacznie rozwinięte i pogłębione. J. Thomsen (1826—1906) profesor chemii fizycznej w Kopenhadze ustalił m. in. pojęcia reakcji egzotermicznych i endotermicznych; H. Le Chatelier w wyniku szczegółowych prac nad stanami równowagi chemicznej podał w 1884 r. słynną „regułę przekory" głoszącą, że gdy w danym układzie zakłóci się w jakikolwiek sposób istniejący stan równowagi (np. przez podwyższenie lub obniżenie temperatury, ciśnienia itp.), to przejawi się natychmiast dążenie do wytworzenia nowego stanu równowagowego, w którym działanie zakłócające ulegnie zmniej-

szeniu. Należy wreszcie zaznaczyć, że w wielu dziedzinach chemii nowe i rozległe fundamenty stwarza jeden z fenomenów pracowitości ludzkiej, czołowy chemik francuski M. P. E. Berthelot (1827—1907)[3]. Obok kilku wielkich i zasadniczych dzieł typu podręczników akademickich Berthelot ogłosił ok. 300 oryginalnych prac naukowo-badawczych z zakresu chemii fizycznej, termochemii i chemii organicznej oraz więcej niż 550 innych publikacji naukowych. Wszechstronność tego badacza była istotnie zadziwiająca: konstruował nowe aparaty pomiarowe, stosował nowe metody, badał różne grupy związków organicznych, jak węglowodany, tłuszcze, alkohole, kwasy, węglowodory, realizował nowe syntezy, pisał i publikował, a przede wszystkim kształcił i tworzył własną szkołę wytrawnych organików zaprawionych do samodzielnych badań i prac naukowych.

M. Berthelot

J. H. van't Hoff

Jeszcze dwóch wybitnych uczonych wniosło do bilansu lat osiemdziesiątych swój wielki dorobek, który z upływem czasu będzie potęgować swoje znaczenie. W latach 1885—87 J. H. van't Hoff ogłosił teorię ciśnień osmotycznych w roztworach, a Svante Arrhenius sformułował w 1883—87 r. teorię dotyczącą elektrolitycznej dysocjacji substancji przewodzących prąd elektryczny w roztworze wodnym. Teoria dysocjacji elektrolitycznej okazała się w najwyższym stopniu użyteczną, wyjaśniając w prosty sposób reakcję zobojętniania roztworów kwasów zasadami, zależność pomiędzy „mocą" kwasów, a stężeniem jonów wodorowych,

[3] Zawidzki J., *Przemysł Chem.* 12, (1928).

szybkość przebiegu reakcji jonowych itd. Ponadto teoria ta ułatwia zrozumienie, a więc i sterowanie procesami elektrolitycznymi w praktyce przemysłowej.

Tak oto wielkie koła zamachowe chemii szły na coraz szybszych obrotach. W okresach dziesięcioletnich dokonywały się obecnie sprawy, przewyższające swoim znaczeniem osiągnięcia wielu poprzednich stuleci. Podobnie jak w dziedzinie chemii teoretycznej bujna twórczość przejawiła się w tym okresie zarówno w zakresie nauk technologicznych, jak i bezpośrednio w działalności produkcyjno-przemysłowej. Obok ostrego startu w zakresie barwników i innych pokrewnych syntez organicznych, który wymaga bardziej dokładnego omówienia, należy odnotować te nowości naukowo-technologiczne, które zyskały później większe znaczenie przemysłowe. Tak więc w 1857 r. E. Schweizer znalazł rozpuszczalnik celulozy — amoniakalny roztwór soli miedziowych. Na lata sześćdziesiąte przypada fakt uruchomienia przemysłu potasowego w Stassfurcie w Niemczech następnie ustalenie przez C. Williamsa właściwości chemicznych wydzielonego z kauczuku izoprenu, oraz izolowanie czystego wanadu przez Roscoe'go. W tym okresie A. Graebe i C. Liebermann stwierdzili, że przy redukcji naturalnego barwnika wydobywanego z korzeni marzanny (krapu) otrzymuje się antracen (1868 r.). A. W. Hofmann opisał metodę wytwarzania formaldehydu przez utlenianie alkoholu metylowego na spirali platynowej, a wreszcie J. W. Hyatt odkrył celuloid. W następnym dziesięcioleciu do bardziej ważkich i interesujących odkryć można zaliczyć: stwierdzenie przez A. Baeyera, że działając formadehydem w obecności kwasów na fenole otrzymuje się substancje o charakterze żywic; ustalenie budowy strukturalnej antrachinonu przez R. Fittiga; skroplenie pierwszych gazów „trwałych" przez A. Picteta i P. Cailleteta inicjujące szereg dalszych prac w tej dziedzinie, przeprowadzonych z powodzeniem przez Z. F. Wróblewskiego, K. S. Olszewskiego, K. Lindego, J. Dewara i in.; wykonanie syntezy pirydyny z acetylenu i cyjanowodoru przez W. Ramsaya; odkrycie K. Friedela i M. Craftsa, że chlorek glinowy jest szczególnie aktywnym katalizatorem dla wielu syntez organicznych oraz dokonanie syntezy cyjanowodoru z pierwiastków w łuku elektrycznym przez Dewara. Te tendencje twórcze przejawiają się również silnie w następnych dziesięcioleciach. Na rok 1880 przypada dokonanie syntezy chinoliny przez Z. Skraupa, w trzy lata później A. Baeyer ustala ostatecznie budowę strukturalną indyga, a R. Fittig i E. Erdmann uzyskują syntetycznie α-naftol. Rok 1885 przynosi zdobycz o nieocenionym znaczeniu praktycznym: Auer v. Welsbach oddaje do użytku palnik gazowo-żarowy,

przewyższający kilkakrotnie siłą świetlną wszystkie ówczesne, szeroko stosowane urządzenia do oświetlenia. W następnym roku A. Henninger otrzymał butadien; Héroult we Francji i równocześnie Hall w USA niezależnie od siebie zgłaszają do patentu metodę elektrolitycznej produkcji aluminium; polega ona na redukowaniu prądem tlenku glinu, rozpuszczonego w stopionym kriolicie. W latach dziewięćdziesiątych odkryte zostały przez W. Ramsaya i M. Traversa przy frakcyjnej destylacji ciekłego powietrza dalsze gazy szlachetne: neon, krypton i ksenon.

Wielkim osiągnięciem tych lat jest wyjaśnienie charakteru procesów fermentacyjnych. I na tym odcinku ścierały się od dawna dwie teorie: witalistyczna, podtrzymywana przez autorytet Pasteura, z teorią ściśle chemiczną. Pierwsza głosiła, że fermentacja jest wynikiem procesu życiowego drobnoustrojów i może zachodzić tylko w obecności żywych komórek drożdży. W 1896 r. odkryto jednak *zymazę*, tj. enzym zawarty w soku wyciśniętym z drożdży; enzym ten bez współdziałania żywych komórek drożdżowych powodował w roztworze cukru normalny proces fermentacyjny, co rozstrzygnęło zagadnienie fermentacji zgodnie z teorią chemiczną. W dwa lata później Simonsen uzyskał patent na metodę scukrzania celulozy przez działanie kwasu siarkowego na odpadki drzewne. Wreszcie nie można pominąć faktu, że żmudne prace naukowo-badawcze przeprowadzone w tym okresie przez O. N. Witta, A. W. Hofmanna, St. Kostaneckiego, C. Liebermanna, O. Fischera, R. Nietzkiego i in. nad ustaleniem związku pomiędzy budową strukturalną cząsteczki i jej barwą oraz zdolnością trwałego barwienia innych substancji miały decydujący wpływ na rozwój przemysłu barwników syntetycznych.

Naszkicowany tu obraz tak wszechstronnego i fenomenalnego rozwoju nauk chemicznych, znajdującego swój bezpośredni odpowiednik w lawinowym rozroście przemysłu chemicznego, a w szczególności przemysłu organicznego, był wynikiem kilku równolegle działających przyczyn. Ogólna wytwórczość przemysłowa świata potęgowała się w drugiej połowie XIX w. z roku na rok, stwarzając wciąż nowe i rosnące potrzeby również w zakresie produktów chemicznych. Podstawa surowcowa przemysłu chemicznego znajdowała się w dynamicznym rozwoju. Obok siarki szerokie zastosowanie znalazły piryty hiszpańskie, norweskie i irlandzkie do produkcji dwutlenku siarki; w latach siedemdziesiątych wywóz saletry z Chile przekroczył 300 tys. ton rocznie; eksploatacja fosforytów i soli potasowych poczyniła zawrotne postępy; odkryto nowe, bogate zasoby rud metali; zapoczątkowano przerób piasku monacytowego. Produkty uboczne gazownictwa i koksownictwa stawały się z każdym dziesięcioleciem coraz cenniejszym źródłem wielu materiałów wyjściowych w przemyśle organicznym. Niebawem podjęto i rozwinięto eksploatację

ropy naftowej, gazu ziemnego, wosku, żywicy, terpentyny, a zapotrzebowanie na koks naftowy, węgle retortowe, sadze itp. wzrastało nieustannie.

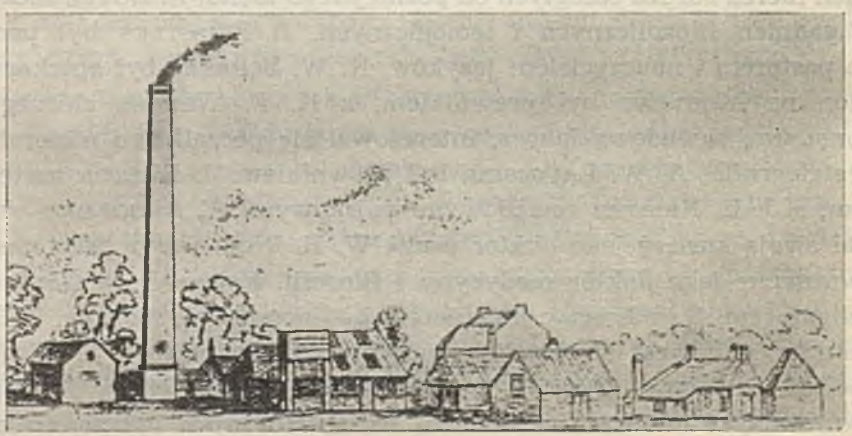
Jednakże najskuteczniejszą i najczynniejszą rolę odegrali wówczas ludzie, te ogromne zespoły pracowników twórczych i pionierskich, przesiąkniętych głęboko zawsze zaraźliwą tendencją wielkich osiągnięć, a działających i rywalizujących ze sobą w wielu krajach. Narzuca się więc pytanie, w jaki sposób wzrosła tak nagle kadra wybitnych chemików i fizyków, którzy w ciągu krótkiego czasu przetworzyli od podstaw chemię teoretyczną i stosowaną, czyniąc z niej symbol postępu technicznego i gospodarczego?

Jest oczywiste, że wytrwała praca licznych w świecie uczelni, instytutów i pracowni badawczych mnożyła z każdą generacją swój dorobek pomimo stosunkowo bardzo nikłych dotacji państwowych na szkolnictwo i pracownie chemiczne w wielu państwach [4]. Stopniowo rozrosła się do imponujących rozmiarów fachowa prasa chemiczna; mnożyły się dzieła naukowe, podręczniki i przeróżne publikacje. Ale czynniki te działały również w zakresie innych dyscyplin wiedzy i techniki, a przecież nie jedna z nich została w drugiej połowie XIX w. zdystansowana nagle przez chemię. Musiały więc działać tu przyczyny szczególne. Jedną z nich był fakt, że problematyka chemiczna posiadała magnetyczną siłę w stosunku do wielu umysłów twórczych i pionierskich. Jest rzeczą zdumiewającą ilu wybitnych chemików rozpoczynało swój start życiowy w dziedzinach nieraz bardzo odległych od późniejszego fachu! R. Boyle zaczynał od zagadnień filozoficznych i teologicznych, J. Priestley był początkowo pastorem i nauczycielem języków, K. W. Scheele był aptekarzem, Guyton de Morveau był prawnikiem, a K. F. Wenzel chirurgiem. M. Leblanc, zawodowy lekarz, interesował się początkowo mineralogią i krystalografią, A. W. Lavoisier był prawnikiem. J. Dalton meteorologiem, a J. B. Richter zawodowym wojskowym. A. Avogadro rozpoczynał swoją karierę jako doktor praw, W. H. Wollaston jako medyk, J. Śniadecki jako doktór medycyny i filozofii. Faraday za młodu był introligatorem, Gay-Lussac inżynierem budowy dróg i mostów, E. Mitscherlich poświęcał się studiom języków wschodnich, a F. Wöhler studiował medycynę. Spośród najwybitniejszych organików M. Zinin zajmował się w młodości astronomią, A. W. Hofmann był prawnikiem, A. Butlerow studiował botanikę i zoologię, A. Kekulé był architektem, K. Duisberg — ekonomistą, V. Grignard — matematykiem itd. Wszyscy oni po pierwszym zetknięciu się z chemią, przekreślali swoje

[4] Haber L. F., *The Chemical Industry during the Nineteenth Century*, Claredon Press, London — Oxford 1958, str. 78.

związki z dawnym fachem i przechodzili bez reszty na stronę chemii, wpisując do historii tej nauki nieprzemijające osiągnięcia i triumfy.

Ponadto wiele ważkich odkryć i wynalazków w zakresie chemii dokonywali niechemicy. Tak np. obserwacje nad rozkładem wody prądem elektrycznym pochodzą od J. R. Deimana, lekarza, A. P. Troostwyka kupca z Amsterdamu, a później od A. Carlislego profesora anatomii i W. Nicholsona inżyniera budownictwa wodnego w Londynie. W. Weldon, który wielokrotnie zapisał się w dziejach chemii był zawodowym dziennikarzem, I. Łukasiewicz, aptekarz, nie tylko zbudował w 1853 r. lampę naftową, ale założył również pierwszą rafinerię nafty, zaś inny aptekarz, E. Rolle, w 1860 r. skonstruował technicznie użyteczny piec do wytlewania węgla brunatnego. . Odkrycia jednej z najważniejszych grup barwników syntetycznych, mianowicie azowych, dokonał w Anglii P. Griess chemik — piwowar. Pewną — zresztą niemałą — rolę odegrał w tych dziejach przypadek. O przypadkowym odkryciu pierwszego barwnika syntetycznego była już mowa. Innym przykładem przypadkowości jest odkrycie w 1879 r. sacharyny przez C. Fahlberga i J. Remsena w pracowni uniwersyteckiej w Baltimore; prowadzili oni badania nad utlenianiem *o*-toluenosulfonamidu. Po całodziennej pracy Fahlberg powrócił do domu, umył się starannie i zasiadł do kolacji; czegokolwiek jednak dotknął wszystko miało specyficzny słodkawy smak. Powrócił więc niezwłocznie do pracowni i tam ustalił przyczynę zjawiska, dochodząc w ten sposób do odkrycia nowego związku organicznego, nazwanego sacharyną.



Pierwsza fabryka moweiny (Perkina) w Greenford Green

Wspomniane właśnie przypadkowe odkrycie barwnika anilinowego — moweiny przez Perkina stało się tym bodźcem, który w sprzyjających warunkach zdynamizował ostatecznie wspaniały i szybki rozwój chemii organicznej i nieorganicznej, teoretycznej i stosowanej. Należy jednak zaznaczyć, że pierwszym sztucznym barwnikiem organicznym użytym

przez włókiennictwo była nie moweina, lecz kwas pikrynowy. Już w 1849 r. Guinon w Lyonie zastosował ten związek do barwienia początkowo jedwabiu, a później wełny. Ten słomkowo-żółty barwnik nie miał jednak wielkich wartości kolorystycznych. Szersze zainteresowanie syntezą barwników wywołało dopiero odkrycie Perkina oraz przystąpienie do budowy i uruchomienia fabryki moweiny w Greenford Green. Perkin po uporaniu się z brakiem niezbędnych materiałów wyjściowych i pomocniczych oraz po przezwyciężeniu ogromu trudności technologicznych produkował tę *purpurę anilinową*, którą stopniowo przystosowano do barwienia jedwabiu i wełny oraz do drukowania tkanin.

Powodzenie tego odkrycia spowodowało falę gorączkowych poszukiwań za nowymi, cenniejszymi, piękniejszymi i trwalszymi barwnikami syntetycznymi. W tych zabiegach i wysiłkach twórczych można odróżnić dwa okresy. Pierwszy, który trwał do 1869 r. wyróżnia się przewagą metod empirycznych i poszukiwaniem po omacku nowych barwników. W tym czasie surowcami były głównie benzen, toluen oraz ich najbliższe pochodne, przede wszystkim anilina; nowe metody wytwórcze często usiłowano zachować w tajemnicy. Sama produkcja barwników „anilinowych" — jak je nazywano — koncentrowała się jeszcze we Francji i Wielkiej Brytanii. Nowe barwniki odznaczały się żywością, ale nie były dostatecznie odporne na wpływy atmosferyczne i pranie, a ponadto były dość drogie. W okresie następnym, trwającym od 1869 r. do szczytowego rozwoju tej gałęzi wytwórczości w latach dziewięćdziesiątych, warunki pracy uległy zasadniczej zmianie. Zakres stosowanych surowców i materiałów wyjściowych poważnie się rozszerzył; rozwinęła się wówczas na dużą skalę produkcja takich materiałów, jak chloro-, nitro-, dwunitro-, amino-pochodne benzenu i toluenu, jak różne kwasy benzenosulfonowe, anilina, nitroanilina, fenol, naftalen, kwas ftalowy, antracen, antrachinon, dwufenyl i wiele innych w wymaganej przez przemysł jakości. Równocześnie powstała i rozwinęła się wytwórczość typowych półproduktów aromatycznych, znajdujących coraz powszechniejsze zastosowanie w syntezach organicznych. Ten olbrzymi i wysoce zróżnicowany dział wytwórczości chemicznej, decydujący w istocie o powodzeniu produkcji wyrobów końcowych, powstał przy ścisłej współpracy z instytucjami naukowymi; jego kierunki rozwojowe można zilustrować tylko nielicznymi, wybranymi przykładami. Tak więc A. Kekulé i A. Wurtz opracowali w 1867 r. reakcję alkalicznego stapiania kwasów sulfonowych, prowadzącą do odpowiednich fenoli; tę metodę wprowadził w dwa lata później do techniki przemysłowej H. Wichelhaus. W latach osiemdziesiątych opracowana została przez Sandmeyera reakcja polegająca na wymianie grupy dwuazowej atomami chlorowców, wodorem, grupą wodorotlenową itd., rozszerzając poważnie liczbę możliwych operacji przetwórczych. Wresz-

cie trzeba wspomnieć, że w 1895 r. A. Sapper przeprowadził katalityczne utlenianie naftalenu do kwasu ftalowego. Najbardziej jednak znamiennym faktem tego nowego okresu, rozpoczynającego się w 1869 r. zgłoszeniem patentowym syntezy alizaryny, jest uporczywe i powszechne wypieranie dawnych metod empirycznych na rzecz metod naukowych, prowadzących systematycznie i świadomie do zamierzonego celu. W ten sposób narasta w zakresie chemii organicznej potężne dzieło twórcze, budowane cegła za cegłą, według wszelkich wymagań i prawideł naukowych. Może dopiero wgląd w archiwa licznych urzędów patentowych dałby przybliżone wyobrażenie o wielkości dokonanego wysiłku, o inwencji twórczej, o szukaniu ciągłego postępu, o walce toczonej bez przerwy w imię doskonałości metod przez takich pionierów syntezy barwników i produktów pokrewnych, jak Baeyer, Béchamp, Bretoniere, Bucherer, H. Caro, Coupier, Croissant, Doebner, Duisberg, Erdmann, E. i O. Fischer, Fittig, J. i A. Gerber-Keller, Girard, Graebe, Green, Griess, Guyot, Heumann, Hofmann, Kekulé, Koechlin, Kostanecki, de Laire, de Lalande, Lauth, Levinstein, Martius, Medlock, Natanson, Nicholson, Nietzki, Perkin, Prud'homme, Rosensthiel, Roussin, Sandmeyer, Sapper, G. Schultz, Verguin, Vidal, Wichelhaus, Witt Wurtz i in. W tym okresie toczy się też zwycięska walka o wyparcie z przemysłu włókienniczego barwników naturalnych, o podniesienie jakości barwników syntetycznych przy czym punkt ciężkości całej produkcji organicznej przesuwa się zdecydowanie do Niemiec i Szwajcarii.

Od chwili niewyzyskanego praktycznie osiągnięcia Natansona i przełomowego odkrycia Perkina w 1856 r. fala dalszych syntez toczyła się z rosnącym przyspieszeniem naprzód. Niebawem A. W. Hofmann uzyskał nowy piękny barwnik, czerwień anilinową. Zainteresowania Hofmanna miały charakter wyraźnie naukowy, nie komercyjny, jednak równocześnie i niezależnie od Hoffmanna identyczny barwnik odkrył E. Verguin, profesor chemii w Lyonie, opatentował go i nazwał fuksyną. W dwa lata później P. Griess wytworzył pierwszy barwnik azowy, żółcień anilinową, a następnie zaczęto syntetyzować coraz liczniej nowe barwniki, jak np. fiolet anilinowy, koralinę, zieleń aldehydową, fiolet metylowy itd. W latach sześćdziesiątych przybywają dalsze i ważne, bo bardziej odporne na działania atmosferyczne barwniki, jak czerń anilinowa, brunat manchesterski, żółcień Martiusa i in. Praktycznie większe znaczenie zyskała czerń anilinowa, odkryta w 1863 r. przez Lightfoota, a powstająca przy utlenianiu soli aniliny chloranem w obecności związków miedziowych. Poważniejszą pozycją był również barwnik żółty, odkryty w 1867 r. przez K. A. Martiusa, założyciela firmy „Agfa" jako pierwszy barwnik pochodny naftalenu. Od 1864 r. poczęto wytwarzać coraz liczniejsze barwniki azowe, zaś w 1869 r. dokonana została równocześnie w dwóch cen-

trach przemysłowych Europy synteza alizaryny, stanowiąca ważny moment przełomowy w dziedzinie syntez barwników organicznych.

H. Caro, dyrektor założonej niedawno firmy Badische Anilin u. Soda Fabrik (BASF), oraz Graebe i Liebermann, stosując jako materiał wyjściowy antracen, przeprowadzili syntezę alizaryny, barwnika wytwarzanego dotychczas z korzeni marzanny i zgłosili do ochrony patentowej na rzecz BASF zarówno w Berlinie, jak i w Londynie. Pruski urząd odmówił wydania patentu, stwierdzając, że podstawowa reakcja tej syntezy była już znana firmie Meister Lucius u. Brüning w Höchst (MLB). W Anglii Niemcy złożyli wniosek o opatentowanie alizaryny 25.VI.1869 r.; dnia następnego W. Perkin zgłosił w urzędzie patentowym swoją opracowaną niezależnie metodę syntezy alizaryny. Brytyjski urząd potentowy przyznał pierwszeństwo grupie BASF, a z perspektywy czasu można stwierdzić, że ten jeden dzień zadecydował właśnie o przyszłej potędze i światowej roli firmy niemieckiej. W 1871 r. produkcję alizaryny podjęły trzy fabryki: BASF w Ludwigshafen, MLB w Höchst i Bayer; był to barwnik zaprawowy, o bardzo dobrych wartościach technicznych, od którego wywodzi się liczna grupa barwników pochodnych. W ciągu kilku lat walki konkurencyjnej uprawa marzanny na obszarze wielu tysięcy hektarów, np. w francuskiej Prowansji, zamarła całkowicie. Zwycięstwo było po stronie alizaryny syntetycznej. Odtąd osiągnięcia naukowo-przemysłowe mnożyły się szybko. W latach siedemdziesiątych E. i O. Fischerowie wyjaśnili budowę kilku zasadniczych grup barwników, w tym i barwników trójfenylometanowych (1878 r.), co niezwłocznie otwarło szerokie możliwości poszukiwań nowych barwników. Gdy zaś firma francuska Poirrier w 1876 r. rozpoczęła produkcję pierwszego, nieopatentowanego barwnika azowego, licząc na zachowanie metody i składu barwnika w tajemnicy, wówczas Hofmann w imię rozwoju nauki opublikował w „Berichte" nie tylko budowę strukturalną, ale i metodę produkcyjną nowego barwnika, umożliwiając różnym wytwórcom nieskrępowaną produkcję tych związków. Nieco wcześniej, bo w 1871 r., A. Baeyer odkrywa grupę barwników ftaleinowych, a w roku następnym Hofmann i Geyger zapoczątkowują syntezy safranin. Następnie w 1873 r. Croissant i Bretonnière odkryli nową i przemysłowo ważną grupę barwników siarkowych, a Boettiger w 1884 r. opracowuje syntezę barwników czteroazowych, stosując benzydynę jako materiał wyjściowy. Nad wszystkimi wymienionymi i niewymienionymi tu osiągnięciami góruje jednak jako ważna problematyka i największa zdobycz synteza indyga dokonana przez A. Baeyera.

Badania dotyczące budowy strukturalnej indyga naturalnego oraz jego syntezy, zapoczątkowane w 1865 r. przez Baeyera trwały 17 lat, były szczególnie trudne i bardzo kosztowne. Prawo do tego barwnika

zabezpieczyły sobie dość wcześnie BASF jak i MLB. Fabryka badeńska, która ponosiła główny ciężar finansowy tych badań, pomimo świetnego powodzenia w tylu innych działach wytwórczych, odczuwała dotkliwie to obciążenie; do momentu rozwiązania w 1882 r. całej problematyki, oczywiście tylko od strony naukowej, wydatki BASF wyniosły kilkanaście milionów marek; miarą zaś komplikacji wymagających rozwiązania w drodze do zamierzonego celu jest fakt zgłoszenia 152 wniosków patentowych, związanych ściśle z tą tematyką. Pierwsza synteza indyga na podstawie pochodnych kwasu cynamonowego, dokonana została w 1880 r. przez BAEYERA. Dopiero jednak następna synteza przeprowadzona przez

Adolf Baeyer

BAEYERA w 1882 r., rozpoczynająca cykl przetwórczy od *o*-nitrotoluenu, stwarzała perspektywy szerokiego wyzyskania tego osiągnięcia do celów praktycznych. Odtąd nad technologiczną adaptacją tej metody pracowało usilnie kilka rywalizujących ze sobą koncernów chemicznych, jak BASF, MLB, Kalle u.Co oraz Société des Usines du Rhône i setki wytrawnych chemików. Na podstawie prac. K. HEUMANNA fabryka badeńska pierwsza podjęła produkcję syntetycznego indyga, prowadząc proces wytwórczy początkowo przez następujące etapy: od naftalenu przez bezwodnik ftalowy do ftalimidu, po czym do kwasu antranilowego i indyga. Zapoczątkowana w 1890 r. produkcja podlegała dalszym zmianom i ulepszeniom technologicznym i ostatecznie zwyciężyła druga, nowsza metoda HEUMANNA. Na jej podstawie dopiero w 1897 r. poczęła rozwijać się inten-

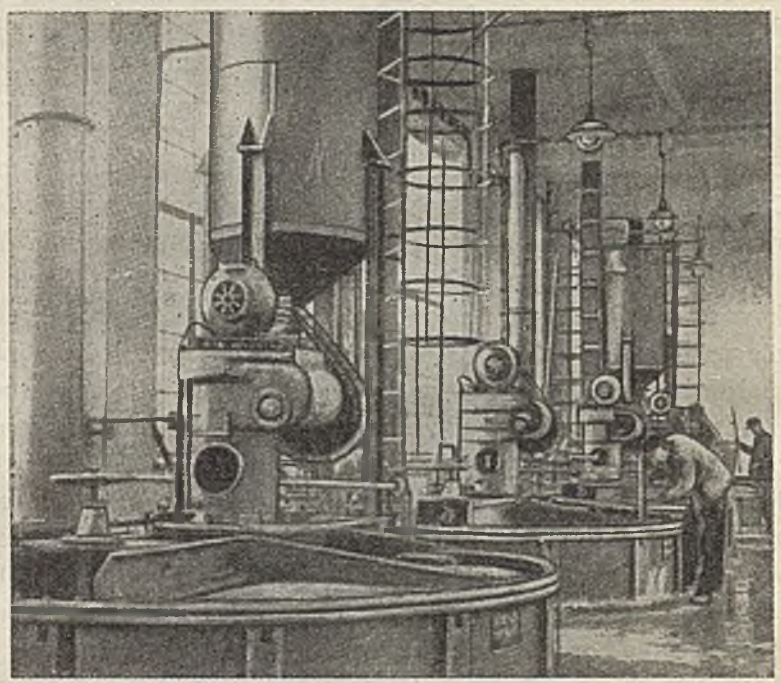
sywnie synteza indyga w Niemczech, wypierając stopniowo indygo naturalne ze wszystkich rynków świata.

W czasie, w którym trwały zmagania się nauki z zagadnieniem syntezy indyga, chemia barwników maszerowała wciąż wielkimi krokami naprzód. W latach siedemdziesiątych nastąpił błyskawiczny rozwój produkcji barwników grupy alizarynowej. Tak np. Baeyer i H. Caro utleniając alizarynę otrzymali barwnik zwany purpuryną (1875 r.), inni badacze zaś wytworzyli błękit alizarynowy, nitroalizarynę i w in.; z wytworzonej przez Baeyera fluoresceiny Caro uzyskał w 1874 r. cenny barwnik eozynę. W dwa lata później poznano grupę barwników tiazynowych, a O. Witt odkrył chryzoidynę. Rok 1878 był szczególnie płodny w ważne nowości. O. Fischer i Doebner wytworzyli wspaniały barwnik zieleń malachitową, Caro przeprowadził syntezę błękitu metylenowego, a E. i O. Fischerowie opracowali naukowo barwniki grupy *p*-rozaniliny. W roku następnym Nietzki uzyskał szkarłat Biebricha i zapoczątkował rozwój barwników dwuazowych. W następnym dziesięcioleciu fala odkryć w tej dziedzinie wzmaga się ponownie. Przybyły nowe i świetne barwniki, jak czerwień Kongo, auramina, benzopurpuryna, czerń naftolowa, rodamina oraz liczne grupy barwników chinolinowych, trójfenylometanowych, fosgenowych, których wybitnym i pierwszym przedstawicielem był fiolet krystaliczny, albo akrydynowych i wytworzonych przez Hofmanna, Duisberga i G. Schultza a szczególnie cenionych barwników antrachinonowych. Na podkreślenie zasługuje też metoda A. Greena (1887 r.) charakteryzująca się tym, że proces dwuazowania szeregu substancji może być przeprowadzony bezpośrednio na włóknie, po czym pod działaniem odpowiednich wywoływaczy (*β*-naftoli) osadza się pożądany barwnik na włóknie. Od 1890 r. metodę tę poczęto stosować na skalę przemysłową; ponieważ zaś proces dwuazowania prowadzi się w niskiej temperaturze (ok. 0—5°), przeto grupę tę nazwano „barwnikami lodowymi". W tym samym roku wprowadzono do szerokiej praktyki przemysłowej, wynalezione wcześniej barwniki siarkowe, np. czerń Vidala. Zainteresowanie tą grupą — głównie ze względu na odporność tych barwników na wpływy atmosferyczne i stosunkową prostotę produkcji — było tak wielkie, że w ciągu kilku zaledwie lat zgłoszono więcej niż 500 pomysłów produkcyjnych z tej dziedziny do ochrony patentowej.

W 1856 r. został odkryty przez przypadek pierwszy barwnik syntetyczny; w czterdzieści lat później, w 1895 r., wielkość produkcji barwników w Niemczech odpowiadała wartości pieniężnej 90 mln franków szwajcarskich, w Szwajcarii 16 mln franków, a we wszystkich innych państwach łącznie 19 mln franków. W ówczesnych warunkach gospodar-

czych i walutowych były to kwoty bardzo duże. Jest też znamienne, że przy stosunku wartościowym produkcji barwników w Niemczech i Szwajcari jak 5,5 : 1,0 stosunek zatrudnionych wyrażał się proporcją, jak 18:1[5].

Konsekwencje tak znacznego rozwoju przemysłu barwników syntetycznych były duże i wielostronne. Najwcześniej ujawniły się następstwa o charakterze technologicznym, które tylko w dużym skrócie mogą



Fragment nowoczesnej wytwórni barwników syntetycznych

być zreferowane. Tak np. w początkowym okresie produkcji syntetycznego indyga proces utleniania naftalenu do bezwodnika ftalowego prowadzono przy użyciu kwasu chromowego. Ta metoda była dość kosztowna; później do tego celu zastosowano stężony kwas siarkowy i katalizatory. Proces był ekonomiczniejszy, ale jego produktem ubocznym i niewykorzystywanym był w dużych ilościach dwutlenek siarki, produkt cenny i zarazem bardzo kłopotliwy. Toteż pracownie naukowe BASF zajęły się niezwłocznie tym zagadnieniem, a R. Knietsch dał w 1890 r. dobre rozwiązanie tworząc kontaktową metodę produkcji stężonego kwasu siarkowego z dwutlenku siarki. W rezultacie rozwinęła się niebawem ostra konkurencja pomiędzy starą metodą komorową i nową, bardzo sprawną, metodą kontaktową produkcji kwasu siarkowego. Nie zdołała

[5] Haber L. F., *op. cit.*, str. 120.

ona jednak unicestwić metody komorowej, która po wielu usprawnieniach wytrzymała dalszą próbę życia.

Jeszcze donioślejsze konsekwencje ujawniły się w zakresie produkcji preparatów farmaceutycznych i leków syntetycznych. Na początku lat siedemdziesiątych stosowano w terapii zaledwie kilkanaście preparatów organicznych wytwarzanych metodami ściśle chemicznymi, przeważnie w pracowniach aptecznych. Zasadniczy przełom dokonał się w następnym dziesięcioleciu, gdy niemieckie wytwórnie barwników jak Bayer, Kalle, MLB i in. przystąpiły do masowej produkcji leków. One bowiem dysponowały kwalifikowaną kadrą naukowców, surowcami i sposobami ich precyzyjnego oczyszczania, półproduktami, aparaturą i olbrzymią, a sprawnie funkcjonującą organizacją zbytu. W latach osiemdziesiątych Knorr odkrył w pochodnej pirazolonu dobry skuteczny środek przeciwgorączkowy, nazwany antypiryną; E. Baumann wytworzył z acetonu i merkaptanów szereg środków nasennych, jak sulfonal, trional i in. W 1887 r. wprowadzono do użytku antyfebrynę, a pod koniec tego dziesięciolecia Ladenburg dokonał syntezy pierwszego alkaloidu. W tym samym okresie wyodrębniono kokainę oraz kilka substancji pokrewnych i podjęto produkcję nowych tak cennych leków, jak fenacetyna, salol odkryty przez Nenckiego, uretan, aspiryna, euchinina, pochodne teobrominy, tanalbina, heroina, kodeina, kseroform, dermatol i wiele innych.

W oparciu o doświadczenia zdobyte w zakresie barwników pojawiły się też pierwsze syntezy środków zapachowych. W. Perkin w latach sześćdziesiątych zsyntetyzował kwas cynamonowy. W 1874 r. F. Tiemann przeprowadził syntezę waniliny, a w 1893 r. łącznie z P. Krügerem opracował syntezę jononu, jednego z najważniejszych materiałów wyjściowych do produkcji perfum.

Organiczna chemia stosowana zapisała wówczas na swoim rachunku również wiele innych aktywów. Można więc zarejestrować znaczny rozwój produkcji organicznych materiałów wybuchowych. Jest znamienne, że najważniejsze odkrycia w tym zakresie zostały dokonane przez człowieka o wyraźnym nastawieniu pacyfistycznym, Alfreda Nobla (1833—1896). Zgłosił on ok. 350 wniosków patentowych, a w tym tak zasadnicze, jak stosowanie detonatorów napełnianych piorunianem rtęci (1864 r.), produkcję dynamitu (1866r.), „żelatyny wybuchowej" (1875 r.) podstawowego składnika prochu bezdymnego, a powstającej przez rozpuszczenie ok. 7% bawełny strzelniczej w nitroglicerynie.[6]. W fabryce w Winterviken koło Sztokholmu podjął początkowo fabrykację „oleju wybuchowego" (nitrogliceryny), ale po kilku ciężkich eksplozjach począł

[6] *The History of Nobels Explosives Company Limited and Nobel Industries Limited 1871—1926*, Vol. 1, Imperial Chemical Industries, London 1838, str. 1—12.

przetwarzać nitrogliceryną na bezpieczniejszy w przechowywaniu dynamit. Światowa produkcja nitrogliceryny w okresie pięciu lat (1867—1872) wzrosła z 11 do 1350 t. Główną część zgromadzonego majątku Nobel przeznaczył na ufundowanie pięciu nagród przydzielanych corocznie dla najznakomitszych twórców i działaczy, bez różnicy narodowości, rasy czy religii, za wybitne osiągnięcia w dziedzinie medycyny, chemii, fizyki, literatury oraz w akcji na rzecz światowego pokoju. Można wreszcie zanotować, że w 1871 r. Sprengel stwierdził wybitne własności kruszące kwasu pikrynowego, który wówczas wyparł częściowo bawełnę strzelniczą.

Wytwórnia nitrogliceryny założona przez A. Nobla

W dalszej ewolucji na podstawie prac K. Haeussermanna, profesora w Stuttgarcie, zastąpiono w 1891 r. kwas pikrynowy trójnitrotoluenem (TNT), który stał się niebawem standartowym materiałem nie tylko w grupie środków kruszących, lecz również jako porównawcza jednostka siły wybuchowej innych materiałów.

Poważny postęp notuje w tym czasie przemysł koksowniczy. Już w 1856 r. Knab, Haupart i Cravès zbudowali w St. Etienne pierwsze baterie pieców koksowych z urządzeniami do wyzyskania produktów ubocznych, tj. smoły i amoniaku. W 20 lat później funkcjonowało już wiele takich instalacji w Belgii, Niemczech i we Francji. Z rozwojem przemysłu barwników wzrastało coraz silniej zapotrzebowanie na benzen. W 1884 r. Darby opracował metodę wydzielania benzenu z gazów koksowniczych, a w trzy lata później H. Brunck zbudował i uruchomił pierwszą instalację przemysłową.

W zakresie techniki garbarskiej ważnym faktem było stwierdzenie w 1867 r., że *quebracho* jest doskonałym garbnikiem; pod koniec lat siedemdziesiątych produkcja ekstraktów garbarskich rozwija się już dość szeroko we Francji, a nieco później i w innych krajach.

Na szczególną uwagę zasługuje zapoczątkowanie kilku przemysłów operujących celulozą jako surowcem, gdyż w latach późniejszych doszły one do wielkiego rozkwitu. Dużą wartość dla szybko wzrastającej produkcji papieru miało opracowanie w 1866 r. przez B. Tilghmana w Filadelfii strony teoretycznej przerobu „papierówki" na celulozę. W 10 lat później E. Mitscherlich zgłosił do opatentowania siarczynową metodę produkcji celulozy. Wspomniano już o tym, że bracia Hyatt odkryli tworzywo plastyczne z celulozy, zwane celuloidem. Historia tego odkrycia jest interesująca. W latach sześćdziesiątych kilku badaczy, jak A. Parkes w Birmingham, D. W. Spill i in., zajmowało się zagadnieniem celulozowych mas plastycznych. John W. Hyatt miał na widoku cele praktyczne: poszukiwał po prostu materiału zastępczego coraz droższej kości słoniowej, stosowanej wówczas m. in. do wyrobu kul bilardowych. W poszukiwaniach swoich Hyattowie odkryli, że kamfora działa żelatynująco na nitrocelulozę. Pokonując rozliczne trudności technologiczne i ekonomiczne, opracowali szczegółowo metodę produkcji celuloidu i powołali do życia przedsiębiorstwo pod nazwą Celluloid Manufacturing Co, Newark. Jeszcze liczniejsza grupa badaczy zajmowała się na początku lat osiemdziesiątych zagadnieniem otrzymywania sztucznego włókna z surowca celulozowego. Dopiero jednak H. Chardonnet, zajmujący się nitrocelulozą jako materiałem wybuchowym, otrzymał w 1885 r. pierwsze, błyszczące włókno „jedwabiu sztucznego" wyciskając kolodium przez dysze do środowiska koagulacyjnego. Niebawem zbudowana została w Szwajcarii pierwsza maszyna przędzalnicza dla jedwabiu nitrocelulozowego, a w 1891 r. Chardonnet utworzył w Besançon spółkę akcyjną z kapitałem 6 mln franków, dla produkcji tego włókna. Równocześnie zgłoszone zostały nowe, odmienne metody produkcyjne. Tak więc w 1890 r. Despaissis odkrył i opatentował metodę miedziową, opartą w zasadzie na roztwarzaniu celulozy w odczynniku Schweizera, a w roku następnym Cross, Bevan i Beadle opracowali i opatentowali metodę wiskozową. Metoda ta, ignorowana początkowo, została uznana w latach następnych za najekonomiczniejszą. Tak powstał — narazie w bardzo skromnych rozmiarach — nowy przemysł jedwabiu sztucznego. Wychodząc w czasie nieco naprzód można stwierdzić, że w 1906 r. pracowały już w świecie 22 fabryki jedwabiu sztucznego, a do największych kompanii należały wówczas: La Soie Artificielle w Paryżu, British Glanzstoff Manufacturing Co, Ltd. i Vereinigte Glanzstoff Fabriken, Eberfeld.

Te historyczne i znakomite zdobycze chemii organicznej w omawianym okresie usuwają często w cień prace, walki i osiągnięcia chemii ogólnej oraz technologii nieorganicznej. Nie jest to bynajmniej uzasadnione. Wkład tych działów jest w drugiej połowie XIX w. wcale poważny. Na czołowe miejsce, choćby ze względu na dalekosiężne konsekwencje, wysuwa się teoria Mendelejewa dotycząca okresowego układu pierwiastków. Dymitr I. Mendelejew (1834—1907) uczeń Bunsena i świetnych profesorów paryskich, był jednym z najwybitniejszych naukowców Rosji w drugiej połowie XIX stulecia. Miał umysł twórczy i przenikliwy; on pierwszy wskazał np., że istnieje „absolutny punkt wrzenia", w którym każda ciecz niezależnie od ciśnienia przechodzi w stan pary lub gazu. Jego dorobek naukowy był bogaty; światowy rozgłos przyniosło mu jednak przede wszystkim ogłoszenie w 1869 r. tablicy okresowej pierwiastków dedukowanej z tezy, że „własności pierwiastków uporządkowanych według wzrastających ciężarów atomowych zmieniają się systematycznie w sposób okresowy." Tym zagadnieniem periodycznego stopniowania własności pierwiastków zajmowali się od lat różni uczeni, jak Döbereiner, Newlands, de Chancourtois, Lothar Meyer i in. Ale za twórcę układu uważa się jednomyślnie Mendelejewa, gdyż on z tych rzucających się w oczy prawidłowości wyciągnął najistotniejsze wnioski naukowe. Mendelejew w swojej tablicy zestawił 60 znanych wówczas pierwiastków, pozostawiając 27 pustych miejsc dla tych, które jak twierdził są wprawdzie w chwili obecnej nauce nieznane, ale niewątpliwie muszą istnieć. Co ważniejsze Mendelejew na podstawie odkrytego przez siebie prawa okresowości przewidział dokładnie ich właściwości chemiczne i fizyczne. Odkrycie między 1875 i 1886 r. nowych pierwiastków, nazwanych wówczas galem, skandem, samarem, gadolinem i germanem potwierdziło w całej pełni słuszność teorii Mendelejewa. Z upływem czasu mnożyły się wciąż potwierdzenia tez tego uczonego; w 1900 r. liczba zbadanych i wprowadzonych do tablicy pierwiastków wynosiła już 84 (obecnie 103). Żywotność tej teorii potwierdza się zresztą po dzień dzisiejszy.

Pewne osiągnięcia rejestruje w tym czasie chemia analityczna. J. Volhard, profesor uniwersytetu harwardzkiego zapoczątkował w 1865 r. elektrolityczną metodę ilościowego oznaczania zawartości metali w solach, którą następnie rozwinął A. Classen. Zastosowanie analizy miareczkowej zostało znacznie rozszerzone. Zastosowano wiele nowych metod i środków pomocniczych do analizy jakościowej i ilościowej oraz w zakresie fotometrii i kalorymetrii. W 1873 r. wszedł do szerokiego użytku w ruchu fabrycznym tak popularny później aparat Orsata do analizy gazów itd.

1 H 1,0080																2 He 4,003
3 Li 6,940	4 Be 9,013											5 B 10,82	6 C 12,011	7 N 14,008	8 O 16,0000	9 F 19,00	10 Ne 20,183
11 Na 22,991	12 Mg 24 32											13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,975	16 S 32,066	17 Cl 35,457	18 Ar 39,944
19 K 39,100	20 Ca 40,03	21 Sc 44,96	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,94	28 Ni 53,69	29 Cu 63,54	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,91	34 Se 78,96	35 Br 79,916	36 Kr 83,80
37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91 22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Tc 99,0	44 Ru 101,1	45 Rh 102,91	46 Pd 106,7	47 Ag 107,880	48 Cd 112,41	49 In 114,76	50 Sn 118,70	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 I 126,91	54 Xe 131,3
55 Cs '32,91	56 Ba 137,36	57-71 *)	72 Hf 178,6	73 Ta 180,95	74 W 183,92	75 Re 186,31	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,23	79 Au 197,2	80 Hg 200,61	81 Ti 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 209,00	84 Po 210	85 At 211,0	86 Rn 222
87 Fr	88 Ra 226,05	89-? **)															

*) Lantanowce

57 La 138,92	58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,26	61 Pm	62 Sm 150,43	63 Eu 152,0	64 Gd 156,9	65 Tb 158,93	66 Dy 162,46	67 Ho 164,94	68 Er 167,2	69 Tm 168,94	70 Yb 173,04	71 Lu 174,99

**) Aktynowce

89 Ac 227	90 Th 232,05	91 Pa 231	92 U 238,07	93 Np 237	94 Pu 244	95 Am 243	96 Cm 246	97 Bk 249	98 Cf 249	99 Es 254	100 Fm 255	101 Md 256	102 No 257	

Nowoczesny układ okresowy pierwiastków

Epokowe przemiany rozwojowe zaszły w drugiej połowie XIX w. również w dziale przemysłu i technologii nieorganicznej. Z zakresu metalurgii zanotować można zjawiska tylko najważniejsze z punktu widzenia i zainteresowań chemii. Zupełnie pierwszorzędne znaczenie miało ostateczne przełamanie trudności technologicznych w zakresie metody wytwarzania aluminium i zapoczątkowanie w 1886 r. tej produkcji na skalę przemysłową. Wspomniano już, że zasadnicza metoda opracowana przez Heroulta[7] polegała na tym, że tlenek glinowy (boksyt) rozpuszczony w stopionym kriolicie rozkładano prądem elektrycznym, przy czym wydziela się metaliczny glin. W 1889 r. „światowa" produkcja tego metalu nie przekraczała 3 t, a jego cena była bardzo wysoka; już w 1893 r. wytwórczość tego metalu przekroczyła 1000 t, a cena 1 kg spadła w 1895 r. do 3,75 franków. Drugim ważnym faktem było opatentowanie w 1867 r. przez Elkingtona metody elektrolitycznego rafinowania miedzi; w związku z rozwojem przemysłu elektrotechnicznego pod koniec XIX w. rafinacja miedzi zyskała na znaczeniu i produkcja czerwonego metalu wzrosła od połowy wieku do 1900 r. prawie 10-krotnie, mianowicie do 490 tys. t.[8]. W latach sześćdziesiątych zaczęto wytwarzać na skalę przemysłową żelazo-mangan, a następnie i wiele innych stopów; pod koniec lat siedemdziesiątych S. G. Thomas i P. Gilchrist odkryli metodę odfosforowania żelaza, stwarzając podstawy pod produkcję nowego, zasadowego nawozu fosforowego, zwanego tomasyną. Wreszcie w 1894 r. opracowane zostały przez H. Goldschmidta reakcje termitowe; umożliwiały one produkcję niektórych metali, jak chrom, mangan, oraz pewnych stopów, jak żelazo-tytan itp., które nie zawierały węgla; reakcje te stwarzały warunki osiągania w określonym miejscu wysokich temperatur, niezbędnych do obróbki lub spawania metali.

Oba główne działy elektrochemii, tj. elektroliza i elektrotermia, stały się podstawą przyszłego rozwoju nowych gałęzi przemysłu chemicznego. Aż do drugiej połowy XIX w. chlor otrzymywano metodą W. Weldona lub metodą H. Deacona przez utlenianie chlorowodoru. Już w 1851 r. K. Watt opatentował w Wielkiej Brytanii sposób wytwarzania chloru i sody kaustycznej metodą elektrolityczną. Ceny prądu były jednak jeszcze tak wysokie, że wyzyskanie tego sposobu było praktycznie nierealne. Dopiero po wprowadzeniu dynamomaszyny, wynalezionej w 1878 r. przez Siemensa, prąd elektryczny stał się dostępny dla celów przemysłowych. Równocześnie po pokonaniu rozlicznych trudności A. Breuer zbudował pierwszą cementową, porowatą i użyteczną diafragmę do elektrolizy roztworów soli. Naukowcy zatrudnieni w przedsiębiorstwie che-

[7] Wasilewski L., *Elektrochemia Techniczna*, Skrypt, Gliwice 1952. cz. II. str. 80 i następne.

[8] Ullmann, F., *op. cit.*, t. VII, str. 474.

micznym w Griesheim (zwanym od 1898 r. Griesheim-Elektron) opracowali szczegóły technologiczne i uruchomili pierwszą próbną instalację o mocy 200 KM do elektrolizy chlorku potasowego. Po stwierdzeniu zadowalających rezultatów powiększono najpierw instalację do 400 KM (1890 r.) oraz zastosowano system ciągły produkcji, a następnie zwiększono do mocy 2200 KM. W roku 1892 notuje się w tej dziedzinie nowe osiągnięcie: H. J. Castner w USA i C. Kellner w Austrii realizują niezależnie od siebie metodą elektrolizy przy zastosowaniu elektrody rtęciowej, uzyskując szczególnie czystą sodę kaustyczną.

Początki elektrotermii wiążą się z próbami podjętymi w latach osiemdziesiątych w USA przez E. C. Achesona wytwarzania sztucznych diamentów. Przy tej okazji Acheson odkrył przypadkowo nowy związek, węglik krzemu, nazwany karborundem i stosowany do celów szlifierskich. W 1883 r. otrzymano w łuku elektrycznym węglik boru, materiał o twardości zbliżonej do diamentu. W następnym dziesięcioleciu Acheson uruchomił produkcję karborundu, Willson i Brochers wytwarzali węglik wapnia, a H. Moissan, jeden z najczynniejszych współtwórców nowoczesnej elektrotermii, skonstruował nowy piec elektryczny, który niebawem stał się prototypem wielkich instalacji przemysłowych.

Tymczasem głęboką ewolucję przechodził cały kompleks przetwórczy związany z produkcją sody metodą Leblanca. W procesie tym tworzyły się duże ilości odpadkowego kwasu solnego, który — jak wspomniano — był przetwarzany głównie na chlor i środki bielące metodą W. Weldona albo przez katalityczne utlenianie chlorowodoru powietrzem wg patentów H. Deacona, uzyskanych w latach 1868—1876. Metoda Deacona górowała nad metodą Weldona tym, że środek utleniający był tani, natomiast uzyskiwany chlor był zanieczyszczony i rozcieńczony. Drugim produktem odpadkowym przy produkcji sody był siarczek wapnia, zawierający całkowitą ilość siarki wprowadzonej z kwasem siarkowym do procesu. Była to poważna pozycja w rachunku strat. W 1882 r. rozwiązano pomyślnie i to zagadnienie; z siarczku wapnia otrzymywano siarkowodór, z którego odzyskiwano siarkę metodą Clausa. W ten sposób metoda Leblanca zbliżała się do ideału technologicznego przez wyzyskiwanie praktycznie wszystkich produktów ubocznych w sposób racjonalny[9]. Jednakże właśnie wówczas została opracowana prostsza i tańsza metoda produkcji sody, która w ciągu krótkiego czasu wyparła metodę Leblanca. W nowej metodzie produkcji sody tzw. amoniakalnej nie stosowano kwasu siarkowego. Reakcje stanowiące podstawę metody

[9] Zawadzki J., *Technologia chemiczna nieorganiczna*, PWT, Warszawa 1952, str. 548.

amoniakalnej były znane od dawna, a próby praktycznego ich zastosowania były podejmowane od początku XIX stulecia. Obok wielu innych badaczy tematem tym zajmowali się tak znani naukowcy lub technologowie, jak Fresnel, Harrison, Muspratt, Canning, Gossage, Kunheim, Seybel, Deacon. Próbne instalacje techniczne uruchamiali Muspratt w Anglii, Schloessing i Rolland w Puteaux koło Paryża, E. Daguin w La Madelaine koło Nancy. Niestety próby te kończyły się niepowodzeniem technologicznym lub ekonomicznym. Jednak już w 1861 r. Ernest Solvay (1838—1922) opatentował „amoniakalną" metodę produkcji sody; w dwa lata później stworzona została firma Solvay et Cie w celu eksploatacji tego patentu. Przy budowie, a zwłaszcza przy uruchomieniu pierwszej fabryki w Couillet koło Charleroi w Belgii, wyłoniły się poważne trudności technologiczne. Dopiero w czerwcu 1865 r. podjęto bardziej regularny ruch fabryki, doprowadzając pod koniec tego roku do produkcji 600—800 kg sody bezwodnej na dobę. W tym czasie wydarzyła się jednak ciężka katastrofa w fabryce, przy czym główny agregat został zniszczony przez eksplozję. Rodzina Solvaya pokryła niezwłocznie szkody i straty tak, że po kilku miesiącach ruch fabryczny został wznowiony. Odtąd produkcja wzrastała dość szybko. W sierpniu 1866 r. wynosiła już 1600 kg sody na dobę, w 1875 r. osiągała 10, a w latach osiemdziesiątych 30 t na dobę. W tych warunkach walka konkurencyjna z sodą otrzymywaną metodą Leblanca przybierała na sile, a ceny sody bezwodnej spadły do połowy. Metoda Solvaya umacniała się w tym czasie coraz wyraźniej. W 1871 r. uruchomiono pierwszą fabrykę sody amoniakalnej w Anglii, w 1874 r. we Francji, a w 1883 r. w Niemczech. Powodzenie nowej metody ilustruje rozwój produkcji sody we Francji. Wytworzono tam w tysiącach ton rocznie[10]:

	1875 r.	1880 r.	1893 r.	1905 r.
soda metodą Leblanca	57,0	55,0	27,0	6,0
„ „ Solvaya	2,6	44,0	120,0	270,0

Chcąc ratować fabryki pracujące metodą Leblanca przed zagładą, producenci postanowili zredukować do minimum pracę oddziałów sody krystalicznej i bezwodnej, a zwiększyć znacznie produkcję sody kaustycznej. W tym czasie jednak nastąpił gwałtowny rozwój metod elektrolitycznych, co przekreśliło ostatnie nadzieje fabryk Leblanca. Dla dokładności można zaznaczyć, że niebawem zrealizowano odmiany metody Solvaya, na ogół jednak wyniki eksploatacyjne były nieco gorsze, w szczególności straty amoniaku były większe niż przy pracy metodą Solvaya.

Załamanie się metody Leblanca groziło spowodowaniem kryzysu w przemyśle kwasu siarkowego; zapotrzebowanie poczęło zmniejszać się,

[10] Haber L. F. *op. cit.*, str. 43 i 110.

a ceny poważnie spadły. Niebawem jednak zjawili się nowi, wielcy odbiorcy kwasu siarkowego jak przemysł nawozowy i rozwijający się przemysł barwników syntetycznych, co pozwoliło na przełamanie wszelkich trudności i obaw.

Svante Arrhenius

W historii rozwoju przemysłu nieorganicznego w drugiej połowie XIX w. jest jeszcze kilka innych, ważnych i interesujących faktów do zanotowania. Przede wszystkim więc nastąpił pierwszy, wyraźny skok w produkcji i użyciu przez rolnictwo nawozów sztucznych azotowych, fosforowych i potasowych. Zgodnie z zaleceniem Dumasa i Liebiga już na początku drugiej połowy ubiegłego wieku plantatorzy buraka cukrowego zaczęli stosować nawożenie potasowe. Po stwierdzeniu dodatnich wyników nawożenie potasowe rozszerzono szybko i na inne uprawy. W odniesieniu do nawożenia azotowego trwały przez czas dłuższy nieporozumienia w związku z głoszonym przez Liebiga poglądem, że rośliny czerpią azot w dostatecznej mierze bezpośrednio z powietrza oraz, że najkorzystniejsze efekty dadzą nawozy nierozpuszczalne, które nie ulegają wypłukiwaniu z gleby. Dalsze badania samego Liebiga i innych uczonych skorygowały te twierdzenia, a wówczas nastąpił znaczny rozwój zużycia zarówno nawozów fosforowych, jak i saletry chilijskiej oraz siarczanu amonu. W latach sześćdziesiątych produkcja superfosfatu osiągnęła już kilkaset tysięcy ton rocznie; przy przerobie kości uzyskiwano też, jako produkt uboczny, fosforan dwuwapniowy, tzw. precypitat. W następnym dziesięcioleciu zapoczątkowano w Niemczech rozkła-

danie nierozpuszczalnych fosforanów trójwapniowych przy pomocy kwasu fosforowego uzyskując nawóz wysoko skoncentrowany, zwany później superfosfatem podwójnym. Ponadto od 1882 r. zaczęto stosować mielone żużle Thomasa, które jako nawóz wybitnie zasadowy zyskały, szybko ogromne powodzenie wśród rolników. W początkowej fazie tego okresu głównym odbiorcą nawozów było rolnictwo w Wielkiej Brytanii; zużywało ono wówczas więcej nawozów sztucznych niż wszystkie kraje kontynentu europejskiego łącznie. Tak np. w 1865 r. rolnicy brytyjscy zużyli 250 tys. ton mączki kostnej i superfosfatu oraz ok. 240 tys. ton guana peruwiańskiego i ok. 50 tys. ton saletry chilijskiej. W kilka lat później wywóz saletry z Chile przekroczył rocznie 300 tys. ton z czego 160 tys. ton odbierała W. Brytania. W następnych dziesięcioleciach sytuacja zaczęła jednak ulegać radykalnej zmianie, a forsowne nawożenie zataczało na kontynencie coraz dalsze kręgi[11].

W 1891 r. J. B. Readman odkrył nową metodę produkcji fosforu, polegającą na ogrzewaniu mieszaniny fosforytów z piaskiem i węglem w piecu elektrycznym; w dwa lata później metoda ta została zrealizowana na skalę przemysłową. Do ważniejszych faktów należy również zaliczyć to, że firma niemiecka Schott u. Co w porozumieniu z zarządem fabryki braci Zeiss w Jenie podjęła produkcję specjalnego szkła laboratoryjnego, które niebawem — podobnie jak odczynniki chemiczne — zyskało rozgłos światowy.

Znaczny postęp zarysował się też w technice stosowania gazów sprężonych i skroplonych. W. Raydt, który sugerował stosowanie skroplonego dwutlenku węgla do podnoszenia zatopionych statków, zbudował w 1878 r. pierwszą instalację do jego skraplania, a w parę lat później rozprowadzano już ten gaz do szerszego użytku w przemyśle spożywczym. Skroplony amoniak zastosowano w USA w 1881 r. do urządzeń chłodniczych; w 1883 r. zapoczątkowano produkcję skroplonego dwutlenku siarki, zaś w 1888 r. BASF przeprowadziła skroplenie chloru na skalę techniczną.

Ten tak wszechstronny i tak dynamiczny rozwój przemysłu chemicznego spowodował pośrednio szereg doniosłych konsekwencji o charakterze prawno-gospodarczym, których rola w dziejach chemii nie może być pominięta. W dawniejszej literaturze ekonomicznej przeciwstawiano dwie tendencje w zakresie państwowej polityki gospodarczej; politykę opartą na zasadach liberalnych, tzw. laissez-fair'yzmu polityce państwowego interwencjonizmu. W rzeczywistości jednak nawet w państwach hołdujących skrajnemu liberalizmowi można stwierdzić na każdym kroku

[11] Waeser B., *Die Luftstickstoffindustrie*, Verlag von Otto Spamer, Leipzig 1922.

interwencjonizm w sprawy gospodarcze. Jeżeli w dziedzinie chemii aż do połowy XIX w. ujawnia się on tylko sporadycznie, to dlatego, że wówczas przemysł chemiczny nie odgrywał jeszcze większej roli. W drugiej połowie tego stulecia nastąpiła zasadnicza zmiana w tej sytuacji. Odtąd zarysowują się nowe i bardzo charakterystyczne zjawiska: wzrasta i rozszerza się ingerencja administracyjna, a równocześnie przejawia się — narazie skrystalizowana niewyraźnie — rywalizacja międzypaństwowa w zakresie przemysłu chemicznego.

Jest też zrozumiałe, że w pierwszym okresie interwencjonizm miał na celu nie tyle rozwój przemysłu, ile raczej ochronę interesów ludności lub niektórych grup gospodarczych przed wtórnymi następstwami rozbudowy produkcji chemicznej. Tak poczęto dość wcześnie ustawowo regulować zjawisko narastającego zanieczyszczania atmosfery lub zatruwania rzek i ścieków wodnych. We Francji już w 1850 r. utworzono specjalną radę czuwającą nad czystością powietrza. W Prusach przyjęto ogólną zasadę prawnej odpowiedzialności fabryk za wszelkie szkody i straty. W Szwajcarii niektóre większe miasta (np. Bazylea) koncesjonują od 1854 r. powstawanie nowych fabryk chemicznych, a wszelkie zanieczyszczanie rzek i powietrza spotyka się z energicznym i skutecznym przeciwdziałaniem inspektorów sanitarnych. W Anglii, w kraju najsilniej uprzemysłowionym w tym czasie, odczuwano dotkliwie skutki wypuszczania przez liczne fabryki sody par kwasu solnego w powietrze albo kondensatów do rzek. Toteż 1.I.1864 r. wprowadzono w życie „Alkali Act", który zmuszał fabryki sody do chwytania chlorowodoru i zabraniał wpuszczania kondensatów do rzek. Stało się to bodźcem rozwoju produkcji chloru i bielidła. W 1892 r. omawiane zarządzenie zostało znowelizowane w tym sensie, że kontrola została rozciągnięta i na inne wytwórnie chemiczne, przy czym uregulowano odpowiedzialność fabryk za zanieczyszczanie rzek. Wreszcie w 1895 r. ogłaszając „Factory Act" zapoczątkowano wprowadzanie w czyn zasady odpowiedzialności fabryk za spowodowanie chorób zawodowych wśród swoich pracowników.

Również można stwierdzić przejawy interwencjonizmu o charakterze nie administracyjno-porządkowym, lecz gospodarczym. W niektórych krajach w imię ochrony interesów własnego rolnictwa zmuszano np. fabryki włókiennicze do barwienia materiałów mundurowych laką krapową (marzanną), a nie alizaryną syntetyczną. W Anglii propagowano stosowanie naturalnego indyga zamiast syntetycznego. We Francji w imię postulatów plantatorów winnic ceny alkoholu, a w tym i używanego w przemyśle chemicznym, utrzymywano na wysokim poziomie. W Wielkiej Brytanii „akt spirytusowy" z 1880 r. wprowadził tak kosztowną i skomplikowaną procedurę kontrolną urzędu akcyzowego przy

użyciu spirytusu nie opodatkowanego do celów chemicznych, iż przerób w wielu przypadkach nie opłacał się.

Błędna polityka celna w zakresie subtelnie reagującego przemysłu chemicznego spowodowała również wiele ujemnych skutków. Tak np. Niemiecki Związek Celny w latach sześćdziesiątych obniżył cło od sody krystalicznej, kaustycznej i bezwodnej. W latach następnych sześć fabryk sody w Niemczech uległo likwidacji, a import sody angielskiej podwoił się w ciągu 5 lat [12]. Innym przykładem mogą być zarządzenia celne USA w odniesieniu do barwników syntetycznych. W 1878 r. wprowadzono tam bardzo wysoką ochronę celną: 50 centów od funta importowanego barwnika oraz niezależnie 35% „*ad valorem*" (tj. od wartości towaru). Pod tą ochroną przemysł syntez organicznych począł krzewić się w USA. Ale między 1883 r. a 1894 r. w imię interesów silnego przemysłu włókienniczego zmieniono tę politykę gruntownie. Mianowicie najpierw zniesiono opłatę jednolitą od ciężaru, a następnie obniżono również opłatę *ad valorem*. Skutki nie dały długo na siebie czekać; przemysł barwników syntetycznych w USA uległ silnemu załamaniu, co gorsze zaś ponowne podwyższenie cła w 1897 r. okazało się już nieskuteczne. Natomiast reforma celna przeprowadzona w Rosji w latach osiemdziesiątych, zmierzająca do ochrony własnego przemysłu, przyniosła pewne ożywienie również w dziedzinie chemii. Podobny wpływ wywierała zmienna polityka akcyzowa w odniesieniu do soli lub alkoholu w różnych państwach Europy.

Jednym ze szczególnie ważnych i skutecznych sposobów interwencji na rzecz rozwoju omawianego przemysłu było i jest popieranie nauk chemicznych oraz konsekwentne przygotowanie wysokokwalifikowanej kadry fachowców. Niektóre państwa, w szczególności Niemcy, przeznaczały w drugiej połowie XIX w. znaczne sumy na rozbudowę pracowni naukowych. Wydział chemiczny politechniki w Karlsruhe posiadał w 1880 r. 41 profesorów; wiele innych politechnik miało doskonałe, bogato dotowane pracownie i liczny personel naukowy. Takie pracownie jak pracownia Liebiga w Gissen, Bunsena w Heidelbergu, Kekulégo w Bonn, Hofmanna w Berlinie, słynęły w całej Europie. Podobnie wydajnej pomocy w innych państwach w tym czasie nie było. W Anglii, Francji, a tym bardziej w USA dotacje z funduszów publicznych na rozwój bibliotek i pracowni chemicznych były dość nikłe. W 1857 r. dyskutowano w Manchesterze sprawę ewentualnej likwidacji wydziału chemicznego. Pewnym przejawem wysiłku formowania fachowych kadr chemicznych we Francji było ufundowanie przez władze municypalne Paryża w 1882 r. École de Physique et Chimie; w Lille, na wzór politechnik niemieckich powołany został do życia już w 1872 r. Institut Industriel du Nord. Również

[12] Haber L. F., *op. cit.* str. 48.

brytyjska ustawa „Technical Education Act" z lat osiemdziesiątych, zabezpieczająca dotacje na cele technologiczne, była przejawem tendencji postępowych. W USA natomiast w latach siedemdziesiątych tylko trzy uniwersytety (Massachusetts Institute of Technology, Pennsylvania i Virginia) prowadziły prace laboratoryjne z zakresu chemii organicznej i szkoliły łącznie w tym dziale zaledwie 11 studentów. Konsekwencje tego stanu rzeczy odezwą się w niedalekiej przyszłości w sposób nad wyraz wymowny.

Nie można również zaprzeczyć, że prawo patentowe — szczególnie w odniesieniu do przemysłu syntez organicznych — odegrało wielką, czasem decydującą, a zwykle przez samych chemików niedocenianą rolę. Ogólnopaństwowe prawo patentowe istniało w Anglii od 1624 r., w USA od 1790 r., we Francji od 1791 r. praktycznie jednak aż do początków XIX w. nie miało ono większego znaczenia. Dopiero wraz z mechanizacją produkcji i rozwojem komunikacji uzyskiwało coraz większe znaczenie. Różne państwa ogłaszały stopniowo własne ustawy, np. Prusy w 1815 r., Bawaria w 1825 r., Wirtenbergia w 1836 r. Między 1830 a 1845 r. prawo takie ustanowiły liczne państwa południowo-amerykańskie, a Francja w 1844 r. przeprowadziła zasadniczą nowelizację ustawy z 1791 r. W drugiej połowie XIX w. własne prawa ogłosiły Belgia, Italia, Kanada, Niemcy, Rosja, Austria i in. Wiele państw stworzyło ustawodawstwo patentowe dopiero w XX w. lub radykalnie je znowelizowało. Jednolite prawo dla całych Niemiec zostało sformułowane i przyjęte dość późno, bo w 1877 r. i uległo nowelizacji w 1891 r. Wówczas to na skutek zabiegów Niemieckiego Towarzystwa Chemicznego wyjęto z pod ochrony patentowej produkty chemiczne, farmaceutyczne i spożywcze w przekonaniu, że mogłoby to paraliżować postęp technologiczny. Natomiast chronione mogły być dokładnie opisane metody przetwórcze, zbadane co do swej nowości i oryginalności. Na podobnych, choć nie identycznych podstawach, oparło się prawo patentowe Wielkiej Brytanii, Holandii, państw Skandynawskich, Stanów Zjednoczonych, Rosji, Austrii i in. Szwajcaria oponowała przez długi czas przeciwko wszelkiemu skrępowaniu własnego rozwoju przemysłowego normami patentowymi i dopiero w 1907 r. przyjęła niemiecki system ochrony patentowej, który zdał już swój życiowy egzamin.

Odmienną koncepcję przyjęła francuska doktryna patentowa, a Italia, Hiszpania, Belgia poszły śladami wytyczonymi przez ustawodawstwo francuskie. W tym przypadku podstawowym założeniem było uznanie wynalazku za nienaruszalną własność prywatną i w konsekwencji ustawa francuska z 1844 r. gwarantowała wynalazcy ochronę o charakterze monopolu na sam produkt na przeciąg 15 lat, niezależnie od zastosowanej metody produkcyjnej. Oznaczało to w praktyce, że po udzieleniu patentu

zanikały we Francji wszelkie bodźce do udoskonalenia tego wynalazku; odwrotne tendencje panowały w Niemczech. Np. po zgłoszeniu pierwszej syntezy indyga przez Baeyera opatentowano rychło więcej niż 30 różnych metod tej syntezy, z których tylko dwie najekonomiczniejsze zostały zastosowane w przemyśle. Ponadto francuski urząd patentowy, podobnie jak i urzędy wielu innych państw, nie zajmował się szczegółowym, prewencyjnym badaniem zgłoszenia „na nowość", kładąc nacisk na pierwszeństwo meldunku o wynalazku. Spory zaś o pierwszeństwo lub naruszenie nabytych już uprawnień wytwórczych rozstrzygano tam na drodze sądowej.

Pomimo tak zróżnicowanych zasad w latach osiemdziesiątych usiłowano ze zrozumiałych względów stworzyć choćby podwaliny pod budowę międzynarodowego prawa patentowego. Wysiłek udał się tylko częściowo. Międzynarodowa konwencja patentowa została podpisana w 1883 r. i uprawomocniona w roku następnym z tym jednak, że kilka państw do niej nie przystąpiło, a np. Niemcy, zajmujące wówczas w zakresie chemii przodujące stanowisko, przystąpiły do tego układu dopiero w 1903 r.

Konsekwencje obu przeciwstawnych zasad, reprezentowanych przez francuską i niemiecką ustawę patentową były bardzo wielkie i mocno zaważyły na upadku przemysłu barwników syntetycznych we Francji, a częściowo również w Wielkiej Brytanii oraz na imponującym rozwoju tego przemysłu w drugiej połowie XIX w. w Niemczech i w Szwajcarii. Temat ten jest jednak tak złożony i obszerny, że i w tym przypadku trzeba posłużyć się z konieczności metodą ilustracyjną. Tak np. fuksyna odkryta po raz pierwszy przez polskiego profesora Natansona w 1856 r., badana przez A. W. Hofmanna, została opatentowana przez Verguina we Francji w kwietniu 1859 r., a prawa stąd wynikające przekazane firmie Renard Frères. Firma ta sprzedawała początkowo 1 kg barwnika po zawrotnej cenie 500 fr. Pod koniec października 1859 r. J. i A. Gerber-Kellerowie z Mulhousy uzyskali patent na ten sam barwnik inaczej nazwany i wytwarzany inną, tańszą metodą. Firma konkurencyjna Monnet et Dury podjęła wyrób tego barwnika, obniżając cenę sprzedażną. Wywołało to długotrwały i kosztowny proces z firmą Renard Frères, który zakończył się ostatecznie w 1863 r. wyrokiem niekorzystnym dla firmy Monnet et Dury. Sprawy tego rodzaju zablokowały silnie i skutecznie rozwój przemysłu barwników syntetycznych we Francji. Potencjalne zaczątki tego przemysłu poczęły emigrować z kraju, najczęściej na prawy brzeg Renu. Co gorzej francuski przemysł włókienniczy przesyłał tkaniny do barwienia w farbiarniach zagranicznych. W 1863 r. 1 kg fuksyny kosztował we Francji 300 fr., a w nadgranicznej Bazylei 130 fr. Gdy zaś niemiecki przemysł barwników wzmocnił się finansowo, zaczął zakładać własne fabryki we Francji. Potentowały one niezwłocznie wszystkie swoje

osiągnięcia i nowości wypracowane w Niemczech i następnie — zabezpieczone przeciwko wszelkiej francuskiej czy zagranicznej konkurencji — sprzedawały swoje barwniki we Francji, najczęściej nawet bez opłacenia pełnego cła, po cenach monopolowych. Podobne powikłania procesowe na tle patentu dotyczącego tej samej fuksyny wyłoniły się w Anglii, a czołowa firma barwnikowa Read Holliday, produkująca ten barwnik obarczona została poważnymi kosztami i opłatami. W Niemczech, a także i we Francji, obcy patent upadał samorzutnie, jeśli w ciągu określonego czasu (2 — 3 lat) nie był on praktycznie realizowany w danym państwie. Jednak brytyjski akt o patentach, wzorach i markach handlowych z 1883 r. nie brał pod uwagę takiego wymogu. Toteż gdy we Francji sadowiły się filie koncernów niemieckich, w Wielkiej Brytanii stosowano inną politykę. W latach od 1891 — 1896 zagraniczne firmy, korzystając z istniejącej sytuacji prawnej, pobrały w brytyjskim urzędzie ok. 600 patentów na najcenniejsze, najbardziej atrakcyjne barwniki syntetyczne, ale ani jeden z nich nie był wytwarzany w Anglii, zaś Niemcy i Szwajcarzy odmawiali licencji na ich produkcję. „Produktem ubocznym" tak nieskutecznych ustaw patentowych była tendencja zachowania szczególnie cennych odkryć w tajemnicy, bez zgłaszania ich do ochrony patentowej, co z reguły całkowicie zawodziło. Firma Bayer sądziła np., że uda się jej utrzymać w tajemnicy metodę produkcji cennego zielonego barwnika siarkowego; w parę miesięcy później ten sam barwnik firmy Sandoz w Bazylei zjawił się w handlu. Ku zdumieniu zarządu BASF przemysłowiec angielski I. Lewinstein omówił w publicznym wykładzie te szczegóły produkcji indyga, które wówczas uważane były za najściślejszą tajemnicę fabryczną. Takich przykładów można by cytować bardzo wiele.

Reasumując należy stwierdzić, że na rozwój przemysłu chemicznego wielki wpływ wywierały nie tylko momenty technologiczne i gospodarcze, ale również w dużym stopniu momenty prawne i organizacyjne. Rzut oka na ewolucję przemysłu chemicznego w różnych krajach uwypukli znaczenie tych czynników w sposób bardziej konkretny i zrozumiały.

Żaden znawca spraw przemysłowych, nawet o najbujniejszej wyobraźni, nie mógł w połowie ubiegłego wieku przewidywać, że w okresie następnych 30 lat niemiecki przemysł chemiczny rozbuduje się tak potężnie i jednym skokiem wysunie się na czołowe miejsce w świecie. Oczywiście, że w 1850 r. przemysł chemiczny — szczególnie w okręgach nadreńskich — istniał i wytwarzał w pokaźniejszych ilościach kwas siarkowy, superfosfat, ałun, sodę, różne sole i preparaty. Jednakże przemysł ten ani kapitałowo, ani organizacyjnie, ani co do podbudowy naukowej nie mógł równać się z przemysłem chemicznym Francji lub Anglii. Zasadniczy przełom nastąpił dość nagle, przy równoczesnym oddziaływaniu wielu przyczyn. Przede wszystkim dawne nakłady poczęły wydawać

w Niemczech owoce. Badania naukowe były w pełnym rozkwicie, kadry fachowe mnożyły się, rozrastały się inne dziedziny przemysłu, a w szczególności metalurgia, budowa maszyn, włókiennictwo oraz budownictwo wszelkiego typu, zwiększała się szybko sieć komunikacyjna, narastały krajowe zasoby finansowe, korzystnie oddziaływało stworzenie niemieckiego związku celnego, a także dość sprawne i sumienne funkcjonowanie administracji publicznej i pozytywnie nastawiona do rozwoju własnego przemysłu chemicznego opinia publiczna. Do tych wstępnych warunków dołączyło się korzystne usytuowanie geograficzne, wyjątkowe i długotrwałe powodzenie zewnętrzno-polityczne, w końcu zaś może i uświadomienie kierowniczych jednostek, że nowe odkrycia chemiczne otwierają drogę do olbrzymiego powodzenia materialnego oraz pole do popisu dla twórczej ambicji narodu. Toteż — jak zaznaczono to już wcześniej — nowo stworzony przemysł barwników syntetycznych stał się wielkim promotorem rozwoju przemysłu chemicznego w Niemczech, w szczególności zaś powstania ze znikomych zaczątków potężnych koncernów chemicznych, realizujących niebawem własne cele gospodarcze w skali międzynarodowej.

Typowym przykładem takiej ewolucji są dzieje Badeńskiej Fabryki Aniliny i Sody (BASF). W 1861 r. założona została na przedmieściach Mannheimu mała fabryczka chemiczna pod firmą Dyckerhoff, Clemm u. Co. W cztery lata później zarząd miejski wyrugował to przedsiębiorstwo z Mannheimu; wówczas usadowiło się ono w małej wiosce w Palatynacie Reńskim, w Ludwigshafen, co nie przeszkodziło w nieścisłym już określeniu fabryki jako „badeńskiej". W pierwszym okresie związali się z tą fabryką tak wybitni chemicy, jak H. Caro, Graebe i Liebermann, którzy dokonali niebawem syntezy alizaryny. W 1871 r. fabryka ta wytworzyła 15 t syntetycznej alizaryny, a w 30 lat później jej produkcja osiągała 2000 t. Po 10 latach rozwoju w 1871 r. fabryka zatrudniała sumarycznie 520 pracowników i spalała 15 tys. ton węgla; w 1900 r. załoga jej liczyła więcej niż 6700 robotników, ok. 500 inżynierów, chemików, techników i urzędników ruchowych, a zużycie węgla przekraczało 300 tys. ton. Przed wybuchem pierwszej wojny światowej BASF była największym koncernem, zaś Ludwigshafen największą fabryką chemiczną Niemiec, wytwarzającą kilkaset różnych produktów. Podobnie dynamiczny rozwój był udziałem założonej w 1862 r. firmy znanej początkowo pod nazwą Meister, Lucius u. Brüning, Farbwerke w Höchst.

Firma ta, dysponująca wielkimi pracowniami naukowo-badawczymi, wytwarzała już w 1867 r. 30 różnych barwników syntetycznych, a później również wiele znanych w całym świecie leków, jak antypiryna, piramidon, anestetyki itp.; produkowała też na dużą skalę półprodukty organiczne oraz uruchomiła oddział elektrolizy soli. Trzecią potęgą che-

miczną w Niemczech stała się firma F. Bayer, z wytwórnią w Eberfeld. I ona obok wielu specjalnych barwników wytwarzała takie leki, jak fenacetyna, weronal, aspiryna i wiele innych. W 1891 r. wykupiono zaś na wschodnim brzegu Renu małą fabryczkę alizaryny od K. Leverkusa; na tym terenie zbudował dyrektor Bayera, Duisberg, nowy i potężny kompleks fabryk chemicznych, który popularnie nazywano odtąd „Leverkusen". Czwartym koncernem o światowej renomie była założona w 1867 r. „Aktien-gesellschaft für Anilinfabrikation" (skrót Agfa), która zbudowała kilka fabryk (w Treptow około Berlina, w Wolfen k. Bitterfeld i in.), produkujących zarówno liczne barwniki syntetyczne, jak i preparaty oraz filmy fotograficzne. Jednym z ważniejszych osiągnięć pracowni naukowych tego koncernu była synteza zieleni malachitowej. Wiele innych wielkich przedsiębiorstw chemicznych rozwinęło swoją działalność w drugiej połowie XIX w. w Niemczech. Można tu tylko w największym skrócie przytoczyć, że np. firma Kalle u. Co., założona w 1863 r., z wytwórnią w Wiesbaden-Biebrich, produkująca związki organiczne i barwniki, zatrudniała w pierwszym roku istnienia dosłownie pięciu pracowników, a w 1900 r. ponad tysiąc, a założona jeszcze w 1812 r. firma L. Casella u. Co, działająca w okręgu Frankfurtu n. M., specjalizowała się od 1867 r. w produkcji barwników azowych, trójfenylometanowych i bezpośrednich dla wełny. Pod koniec XIX w. poważne znaczenie jako wytwórca barwników zyskała firma Chemische Fabrik vormals Weiler-ter-Meer w Merdingen.

Obok wymienionych wyrastały w tym czasie w Niemczech różne przedsiębiorstwa zajmujące się innymi tematami chemicznymi. Tak np. głównym producentem ciężkich chemikaliów w Nadrenii był Związek Fabryk Chemicznych (Verein Chem. Fabriken) w Mannheim. W zakresie produkcji kwasów, alkaliów, nawozów sztucznych, a przede wszystkim w dziale elektrochemii, a następnie również organicznych półproduktów wielką rolę odgrywała firma Chemische Fabrik Griesheim, która po przejęciu w 1898 r. przedsiębiorstwa Elektron we Frankfurcie n. M. zmieniła nazwę na Griesheim-Elektron. W dziale technologii nieorganicznej duże znaczenie miał niemiecki zakład wydzielania złota i srebra (Deutsche Gold- u. Silber-Scheide Anstalt) znany pod skrótem, „Degussa". W rejonie Akwizgranu powstało w latach pięćdziesiątych przedsiębiorstwo zwane Rhenania-Werke, które początkowo wyzyskiwało gazy z prażalni rud cynkowych do produkcji kwasu siarkowego, a stopniowo organizowało inne oddziały fabryczne, wytwarzające alkalia i nawozy sztuczne. Wreszcie nie można pominąć darmstadzkiej fabryki chemicznej E. Mercka, która wyspecjalizowała się w produkcji słynnych w świecie leków.

Tak można by zestawiać dalej całe łańcuchy niemieckich przedsiębiorstw chemicznych, które w tym okresie — strzegąc niewątpliwie swoich kapitalistycznych interesów i zysków — umiały jednak realizować równocześnie wielki program inwestycyjny, prowadzić politykę długofalową i służyć tendencjom postępowym w dziedzinie technologii i organizacji. J. Rütgers, już w 1860 r. w związku z początkową fazą rozwoju przemysłu organicznego, uruchamia w Erkner k. Berlina pierwszą dużą destylarnię smoły; w 1874 r. powstaje fabryka syntetycznego kwasu salicylowego otrzymywanego metodą Kolbego; w 1880 r. zaczyna pracować w Magdeburgu pierwsza fabryka sacharyny; w latach 1870— — 1900 r. produkcja soli potasowych wzrasta przeszło 10-krotnie itd. W zakresie koksownictwa, gazownictwa, fabrykacji cukru, krochmalu, cementu, papieru, lekarstw, pachnideł, kwasów, gazów technicznych, sody itd. wszędzie przejawia się ta sama tendencja rozwoju i powodzenia gospodarczego. Ileż wymowy posiada np. stwierdzenie, że pod koniec XIX w. liczba studiujących chemię na uniwersytetach i politechnikach niemieckich wynosiła ok. 20 tys. osób, w czym wielu cudzoziemców; taką liczbą poszczycić się nie mógł wówczas żaden inny kraj.

Przemysł chemiczny powstający w Niemczech dość późno operuje najnowszymi i najekonomiczniejszymi metodami i urządzeniami. W 1887 r. z całkowitej produkcji sody już 75% przypadało na doskonalszą metodę amoniakalną, gdy np. w Wielkiej Brytanii w tym samym roku zaledwie 22%. Na przełomie wieku 25% kwasu siarkowego wytwarzano w Niemczech metodą kontaktową, torującą sobie dopiero drogę w innych krajach. To przodownictwo technologiczne Niemiec w tym okresie ma charakter uniwersalny.

Niemieckie firmy chemiczne dysponowały również świetną i sprawną organizacją handlową. Tak np. BASF w dziale handlu barwnikami utrzymywała przez swoich agentów bezpośredni kontakt z dużymi odbiorcami na całej kuli ziemskiej, których liczba przekraczała 5000. Koloryści fabryki badeńskiej wprowadzając nowe barwniki osobiście nauczali swych klientów ich stosowania i gromadzili wszelkie uwagi i życzenia odbiorców. W 1890 r. BASF zbudowała i prowadziła własną dużą farbiarnię doświadczalną w celu wystudiowania najlepszych metod barwienia tkanin. Rezultaty takich metod pracy były oczywiście bardzo pomyślne. Można to ilustrować następującymi danymi. Średnie dywidendy wypłacane np. przez niemieckie przedsiębiorstwa chemiczne przedstawiają się w procentach wartości nominalnej akcji w latach następująco:

	1893 r.	1896 r.	1899 r.	1902 r.
w przemyśle nawozów sztucznych	8,6	2,4	7,5	7,5
„ nieorganicznym	10,5	12,5	13,5	13,0
„ barwników syntetycznych	23,9	23,6	22,5	22,0

O tym okresie rozwoju gospodarczego Niemiec pisze znany historyk angielski[13]: „aż do połowy XIX w. Niemcy były podrzędnym krajem. Miały glebę nieurodzajną i stały w obliczu wielu trudności i niedomagań. Przemysłowy rozwój Niemiec w XIX stuleciu jest jednym z najbardziej zdumiewających zjawisk. Obok kolei i elektryczności główną dźwignią postępu ówczesnych Niemiec był ich przemysł chemiczny. To on uczynił ziemie niemieckie urodzajnymi i zapewnił narodowi dobrobyt."

Równie znamienną ewolucję przeszedł w tym czasie szwajcarski przemysł chemiczny. W takich ośrodkach jak Winterthur zaczął się rozwijać przemysł nieorganiczny już pod koniec XVIII w. W połowie XIX w. stało się jednak jasne, że przemysł organiczny w przeciwieństwie do nieorganicznego jest uzależniony w mniejszym stopniu od surowców własnych, których Szwajcaria nie posiadała, i wymaga więcej kwalifikowanej i twórczej pracy, którą kraj ten mógł dysponować. Toteż w latach sześćdziesiątych następuje radykalna zmiana w przedsiębiorstwach chemicznych w Szwajcarii: część ciężkiego przemysłu chemicznego stopniowo likwiduje się, a równocześnie krzewi się coraz bujniej przemysł organiczny obok przemysłu elektrochemicznego i nawozów sztucznych. Odpowiadało to lepiej strukturze gospodarczej tego kraju. Do tego dołączyły się szczególne bodźce rozwojowe. Tak więc wielu chemików i przemysłowców francuskich, którzy nie mogli realizować w ojczyźnie swoich nowatorskich pomysłów np. w zakresie barwników syntetycznych, przesiedliło się do Szwajcarii, gdzie nie było jakichkolwiek ograniczeń patentowych. Jednakże najbardziej bezpośrednim bodźcem rozwoju przemysłu barwników syntetycznych w tym kraju było istnienie dość znacznego, własnego przemysłu włókienniczego w Bazylei oraz dużego przemysłu tekstylnego francuskiego, rozlokowanego w okręgach sąsiadujących ze Szwajcarią. Tak powstały i rozwinęły się w okręgu Bazylei cztery poważne przedsiębiorstwa chemiczne. Pierwszym i najznaczniejszym jest „Ciba" (Gesellschaft für Chemische Industrie, Basel), które po wchłonięciu szeregu mniejszych wytwórni stało się czołowym koncernem Szwajcarii, specjalizującym się w produkcji wysokogatunkowych barwników, wielu ważnych półproduktów i środków pomocniczych oraz preparatów farmaceutycznych. Przedsiębiorstwo pod firmą J. R. Geigy wytwarzało głównie barwniki azowe i bezpośrednie. Firma E. Sandoz słynęła z fabrykacji barwników trójfenylometanowych i wielu leków. Czwartą znaczną fabrykę o szerokiej skali wytwórczej w zakresie półproduktów i barwników utworzyła firma L. Durand et Huguenin. Stopniowo pod naciskiem konkurencji niemieckiej przemysł szwajcarski za-

[13] Knowles L. C. A., *Economic Development in the Nineteenth Century*, Routledge et Kegan Paul Ltd., London 1952, str. 156.

przestał wytwarzania barwników „ilościowych" (jak np. alizaryna), a przeszedł na produkcję barwników specjalnych i drogich. Przed wybuchem pierwszej wojny światowej drugim po Niemcach producentem barwników była Szwajcaria, pokrywając zapotrzebowanie własnego przemysłu włókienniczego głównie w fabrykach niemieckich, eksportując natomiast swoje barwniki na rynki całej kuli ziemskiej. Z innych działów przemysłu chemicznego pewne znaczenie uzyskiwała elektrochemia, mająca do dyspozycji tanią energię elektryczną. W 1887 r. zostało stworzone konsorcjum Aluminium Industrie A. G. Schaffhausen. w celu produkcji aluminium.

Z powodów, które były już omówione, produkcja chemiczna Francji przynajmniej w niektórych działach nie dotrzymała kroku rozwojowi rejestrowanemu np. w Niemczech. Zresztą nie wszystkie warunki obiektywne układały się pomyślnie. Większość przemysłu składała się z małych i średnich fabryk, pracujących stosunkowo drogo w porównaniu z wielkimi kombinatami, a więc z trudem wytrzymujących zagraniczną konkurencję: angielską w chemii nieorganicznej i niemiecką w chemii organicznej. Świeżo zawarty traktat handlowy z Anglią (tzw. Cobdenowski z 1860 r.) obniżył silnie niektóre stawki celne francuskie z zakresu chemii. Dyslokacja surowców, zakładów przetwórczych i wewnętrznych rynków zbytu nie była zbyt korzystna. W omawianym okresie nie umiano jeszcze dostosować się dostatecznie szybko do postulatów wynikających ze zmienności metod przetwórczych w chemii. Pomimo tylu trudności przemysł nieorganiczny jako całość wykazywał dużą żywotność. Tak np. produkcja kwasu siarkowego wzrosła w latach 1880—1900 prawie trzykrotnie i wynosiła na przełomie wieków 625 tys. ton rocznie; w podobnej proporcji wzrosła w tym czasie produkcja sody. Głównymi producentami byli Etablissement Kuhlman i St. Gobain. Fabryki Kuhlmana wytwarzały m. in. wszystkie kwasy nieorganiczne, sodę, nawozy sztuczne, proszki bielące, sól glauberską itd. St. Gobain miało pod koniec XIX w. 14 fabryk w ruchu i zatrudniało łącznie ok. 6600 pracowników, wytwarzając nawozy, sodę, kwasy, szkło i różne sole (siarczan miedzi), ale aż do 1900 r. nie wytwarzano we Francji np. kontaktowego kwasu siarkowego. W dziale nieorganicznym pracowały również inne koncerny i firmy, jak Merle na południu Francji lub firma Kestner. Ta ostatnia, po wchłonięciu w latach pięćdziesiątych kilku drobniejszych wytwórni aniliny, przekształciła się w koncern Fabriques des Produits Chimiques de Thann et de Mulhouse. Od 1860 r. podejmowano we Francji próby wytwarzania aluminium. Realnie posunięto sprawę naprzód, gdy pod koniec lat osiemdziesiątych założona została firma, nazwana później Société Electrométalurgique, która oparła produkcję o metodę elektrolityczną.

Gorzej przedstawia się sprawa z rozwojem syntez organicznych. Początki produkcji barwników związane były z wielkim ośrodkiem francuskiego przemysłu jedwabniczego w Lyonie. Tu powstały dwie pionierskie fabryki: Renard Frères i Monnet et Dury. Po niszczącym procesie patentowym o fuksynę zwycięzcy w tym sporze Renardowie mając zapewnioną pomoc banku Crédit Lyonnais zorganizowali specjalne i samodzielne przedsiębiorstwo La Fuchsine, które na początku lat sześćdziesiątych było największym wytwórcą barwników we Francji. Niestety pomimo śrubowania cen barwników do najwyższych granic, firma ta już w 1868 r. zbankrutowała. W latach siedemdziesiątych walcząc z pewnymi trudnościami utrzymały się jeszcze dwie firmy Chappat oraz A. Poirrier w St. Denis, wytwarzający ok. 200 t różnych barwników. W 1881 r. przedsiębiorstwo to przekształciło się w Société Anon. des Matières Colorantes et Produits Chimiques de St. Denis et de Paris, które rozwinęło na większą skalę produkcję barwników azowych i siarkowych. Z powodu błędnego ustosunkowania stawek celnych francuskich dla surowców organicznych, półproduktów i wyrobów gotowych konkurencja z ekspansją niemiecką w dziedzinie barwników, a częściowo i leków, stawała się coraz trudniejsza. Wielki i prawdziwie pionierski wkład pracy naukowców francuskich o tak znanych nazwiskach, jak Béchamp, Coupier, Roussin, Prud'homme, Koechlin, Croissant, Bretonière, Vidal, de Lalande, Girard, Guyot i tylu innych, nie został wprawdzie zmarnowany dla nauki, ale nie wydał realnych skutków dla Francji i jej przemysłu. W 1878 r. usadowiła się tam filia BASF (z fabryką w Neuville-sur-Saône); w 1881 r. uruchomiona została filia koncernu w Höchst (C-ie Parisienne des Couleurs d'Aniline) a w 1882 r. przybyła filia szwajcarskiej firmy L. Durand et Huguenin (z fabryką w Fons). Następnie ulokowały się we Francji obce firmy Casella, Agfa, Weiler-ter-Meer i in. Ostatecznie w 1900 r. w zakresie syntezy barwników dla potężnego przemysłu włókienniczego pracowało na obszarze Francji 9 większych fabryk, w tym 6 niemieckich, 2 szwajcarskie i tylko jedna francuska. Jednak wiele funkcji pionierskich wykonywała nauka i technika francuska nadal: opracowanie syntezy barwników azowych, wytworzenie nitroalizaryny, wprowadzenie zapraw chromowych i wielu półproduktów organicznych, uruchomienie produkcji nitrobenzenu i aniliny, stworzenie pierwszej fabryki jedwabiu sztucznego, to nieliczne przykłady dorobku twórczego Francuzów w zaniedbywanej wówczas dziedzinie chemii organicznej.

W Wielkiej Brytanii, kraju o najdawniejszym i najsilniej zakorzenionym ustroju kapitalistycznym, w drugiej połowie XIX w. dominowały raczej momenty finansowe i handlowe niż technologiczne i naukowo-badawcze. Olbrzymie powodzenie ekspansji handlowej również w dziedzinie chemikaliów zdawało się być potwierdzeniem powszechnej wiary

Anglików, że ewolucja idzie automatycznie w pożądanym kierunku i nic nie może zagrozić prymatowi gospodarczemu Anglii w świecie. Istotnie w latach 1850—1880 chemikalia brytyjskie dominowały zarówno na rynkach europejskich, jak i w Ameryce. Tak np. eksport alkaliów z Wielkiej Brytanii wzrósł w tym czasie z 16 tys. ton do 270 tys. ton rocznie. W konsekwencji produkcja chemiczna rozrastała się systematycznie. Obok dawniejszego centrum przemysłu nieorganicznego Tyneside w drugiej połowie XIX w. powstaje na obszarze północno-zachodnim tzw. trójkąt chemiczny; St. Helen — Warrington — Widnes. Według oceny Muspratta w 1886 r. było tam czynnych 16 fabryk sody. Również w Anglii środkowej tworzył się w tym czasie dość znaczny przemysł chemiczny. Okręgi te poczęły specjalizować się w zakresie swoich zadań. Tak np. w okręgu Lancashire fabryki wytwarzały sodę bezwodną, kaustyczną i bielidła. W okręgu Tyneside produkowano głównie superfosfat i sodę krystaliczną. Fabryki Tennanta w St. Rollox, stanowiące ok. 1870 r. największy koncern chemiczny na wyspach brytyjskich, wytwarzały m. in. stężony i czysty kwas siarkowy destylowany z kotłów platynowych. Firma Brunner, Mond and Co. Ltd., zajmująca się licznymi działami wytwórczości chemicznej, uzyskała w 1872 r. licencję Solvaya na produkcję sody amoniakalnej; po uruchomieniu wytwórni w 1874 r. przedsiębiorstwo to wykazało bardzo intensywny rozwój. Produkcja sody amoniakalnej wzrosła z 2300 t. w 1875 r. do 77 500 t w 1885 r. i do 240 000 t w 1903 r. W 1890 r. powstał potężny koncern chemiczny „United Alkali Co. Ltd." (UAC), który w tym czasie stał się największym przedsiębiorstwem chemicznym na świecie. Obejmowało ono 45 firm ściśle chemicznych i 3 inne, współpracujące z chemią. W latach dziewięćdziesiątych roczna produkcja tej grupy osiągała 700 tys. ton kwasu siarkowego, 280 tys. ton sody bezwodnej i krystalicznej, 180 tys. ton sody kaustycznej, 150 tys. ton bielidła itd.

W porównaniu z chemią nieorganiczną przemysł organiczny Anglii był stosunkowo słabo rozwinięty; sądzono nawet, że istnieje pomiędzy Niemcami i Anglią korzystny podział pracy: Anglia wytwarza masowo i dostarcza do Niemiec surowce i półprodukty pochodzenia smołowego, a Niemcy eksportują wyroby gotowe, w szczególności barwniki syntetyczne dla potężnego przemysłu włókienniczego Wielkiej Brytanii. Fatalne skutki tego stanu rzeczy ujawniły się w całej pełni dopiero w okresie następnym. Zaczątki własnego przemysłu barwnikowego skoncentrowane były w okręgu manchesterskim i londyńskim. Stara firma Read Holliday, prowadząca już od 1830 r. destylację smoły węglowej, zaopatrywała od 1860 r. fabryki chemiczne kontynentu w benzen, toluen, nitrobenzen, anilinę, toluidynę i in. półprodukty. Następnie zaczęła produkować niektóre barwniki (azowe, zasadowe, siarkowe), w tym i fuksynę.

Druga firma specjalizująca się w produkcji barwników założona została przez Ivana Levinsteina w 1864 r. Początkowo jedynym pracownikiem firmy był sam, 19-letni Levinstein. W dwadzieścia lat później zakłady jego zatrudniające dużą rzeszę pracowników wytwarzały 106 różnych barwników: azowych, trójfenylometanowych, a później siarkowych i wiele półproduktów. Stopniowo powstawały i inne przedsiębiorstwa produkujące barwniki syntetyczne, ale ostatecznie pod naciskiem zagranicznej konkurencji zdołały utrzymać się tylko dwie firmy: Read Holliday i I. Levinstein.

W Stanach Zjednoczonych w drugiej połowie XIX w. faktem o największym znaczeniu dla przyszłego kierunku rozwoju chemii było odkrycie źródeł naftowych w Pennsylwanii pod koniec lat pięćdziesiątych. Zjawisko określone jako „gorączka naftowa" w USA, oddziałało pośrednio również na ożywienie przemysłu chemicznego. W 1859 r. powstała tam pierwsza rafineria ropy typu przemysłowego; dalszy rozwój przeróbki ropy był dość intensywny, co wywołało wzrost zapotrzebowania na kwas siarkowy i inne chemikalia. Mnożyły się więc szybko indywidualne, raczej małe przedsiębiorstwa, o dość wąskim programie produkcyjnym. Ilustrują to następujące liczby, odnoszące się do całego obszaru USA[13]:

Rok	Liczba przedsiębiorstw chemicznych	Liczba zatrudnionych pracowników	Kapitał zainwestowany w mln. dol.	Wartość produkcji w mln. dol.
1860	84	1,1 tys.	3,3	4,7
1880	595	9,7 „	29,0	38,6

Po 1880 r. sytuacja chemii ulega jeszcze korzystniejszej zmianie. Podobnie jak w Anglii i częściowo pod wpływem brytyjskiej konkurencji powstające firmy rozwijają produkcję z zakresu chemii nieorganicznej w szczególności produkcję sody i kwasów mineralnych. Do takich należą: Solvay Process Corp., Michigan Alkali Co., Mathieson Alkali Co. przeorganizowana w 1896 r. i działająca odtąd pod nazwą Castner Electrolytic Alkali Co. Poważne znaczenie zyskały później, świeżo założone firmy: Aluminium Co. of America, Merrimac Chemical Co., Freedley i kilka innych. Próby usamodzielnienia rynku amerykańskiego w zakresie barwników nie dały wówczas pozytywnych rezultatów, zwłaszcza gdy w latach osiemdziesiątych cło na barwniki w imię interesów przemysłu włókienniczego zostało obniżone. Przemysł niemiecki podjął natychmiast ostrą walkę konkurencyjną i w rezultacie w ciągu roku cztery małe wytwórnie amerykańskie uległy likwidacji.

[13] Haber L. F., *op. cit.* str. 55.

Podobnie ważny dla niemieckiego przemysłu barwników był rynek rosyjski o dużej produkcji włókienniczej, chroniony stosunkowo wysokimi cłami na chemikalia. Wywołało to typowe posunięcia przemysłu niemieckiego: w latach 1878—1888 r. cztery wielkie koncerny, mianowicie BASF, Höchst, Agfa i Bayer kreowały swoje filie w Rosji. Te przedsiębiorstwa z reguły wykańczały tylko proces przetwórczy, wykonany w 90% w Niemczech.

Fabryczka kwasu azotowego z końca XIX w. w Anglii

Na terenie Czech powstał w 1857 r. koncern chemiczny Aussiger Verein, w 10 lat później było to największe przedsiębiorstwo chemiczne dawnej Austrii. Wreszcie należy zanotować, że również w Belgii zarysował się w tym czasie wyraźny i silny rozwój niektórych gałęzi przemysłu chemicznego, w szczególności sody, kwasu siarkowego, nawozów sztucznych, koksownictwa i gazownictwa, szkła, wyrobów ceramicznych itp.

Bilansując to brzemienne w osiągnięcia czterdziestolecie trzeba stwierdzić, że zapisało ono w dziejach chemii i przemysłu chemicznego obfity i wszechstronny dorobek. Najwyraźniejsze piętno na wszystkich zmaganiach się i zdobyczach tego czasu wycisnęły badania naukowe. Tak silnego wpływu nauki na poczynania przemysłowe nie znała zupełnie przeszłość historyczna. W niektórych wytwórniach zanikała wprost linia podziału pomiędzy metodami stosowanymi w pracowniach naukowych i w ruchu fabrycznym. Jeszcze bardziej znamiennym zjawiskiem jest to,

że badania naukowe tego okresu stwarzały nowe, olbrzymie perspektywy dla praktycznych osiągnięć w przyszłości. Tak np. Fr. Wöhler wskazywał w 1863 r. na możność tworzenia związków krzemoorganicznych, zastępując atomy węgla atomami krzemu; A. Baeyer w 1872 r. przeprowadza proces kondensacji fenoli z aldehydami, uzyskując substancje o charakterze żywic; w 1875 r. i w latach następnych G. Bouchardat kondensując izopren, wytwarza substancje zbliżone do kauczuku naturalnego; M. Kuczerow w 1881 r. odkrył reakcję katalitycznego uwodnienia acetylenu na aldehyd octowy; Hölzer i Lüdy w latach osiemdziesiątych uzyskali metylomocznik; D. Mendelejew w 1888 r. sugerował myśl o podziemnym zgazowaniu węgla w złożach. Takich zaczynów, które w przyszłości stały się odskocznią ważkich rozwiązań i osiągnięć technologicznych, dostarczył ten okres bardzo wiele. W dziedzinie chemii obfitował on też w wybitnych i wielkich ludzi. Pomiędzy naukowcami jest ich wielu. J. D. Mendelejew, i A. W. Hofmann, i St. Cannizzaro, i M. Berthelot, i A. Butlerow, i A. Kekulé, i A. Baeyer, i W. H. Perkin i w. w. in., którzy zbudowali nową chemię na nowych, mocnych i niewzruszonych fundamentach wiedzy. Obok nich znaleźli się nieprzeciętni przemysłowcy o dalekowzrocznej umysłowości. O Noblu była już mowa, ale i E. Solvay, senator belgijski popierał każde dążenie postępowe i wykazywał głęboki instynkt społeczny. On to głosił w senacie konieczność wysokiego opodatkowania spadków majątkowych w celu złagodzenia rozpiętości socjalnych w ustroju kapitalistycznym i osobiście przeznaczał poważne sumy na tworzenie uniwersytetów robotniczych itp.

Ogromny postęp notuje się w tym czasie w dziedzinie środków pomocniczych stosowanych w praktyce chemicznej. W 1866 r. posłużono się w ruchu fabrycznym ciśnieniem roboczym 30 atn., następnie nauczono się operować wysokimi temperaturami, zastosowano w technologii szereg reakcji katalitycznych; w 1857 r. bracia Siemensowie skonstruowali praktyczny generator do zgazowania paliw stałych; w latach 1878—81 Dowson przeprowadził zgazowanie antracytu parą wodną, Mond zbudował generator zezwalający na uzyskiwanie przy zgazowaniu węgla kamiennego dużych ilości amoniaku, Taylor zbudował ruszt obrotowy, uruchomiono pierwsze generatory na gaz ssany oraz podjęto próby zgazowywania koksu powietrzem wzbogaconym w tlen. Ogólnie w przeróżnych procesach chemicznych nauczono liczyć się w tym okresie z bilansami materiałowymi i energetycznymi, a tendencje racjonalizacyjne przeniknęły głęboko do całej chemii stosowanej.

Wśród ogromnych i wszechstronnych osiągnięć przemysłowych na czołowe miejsce wysuwa się w tym okresie elektrochemia i chemia organiczna. Opisując te czasy W. Ostwald przypomina: chemia organiczna oczarowała wówczas wszystkich i uświadomiła o niewyczerpalnej różno-

rodności możliwych nowych odkryć, metod pracy, nowych reakcji i nowych i tak bardzo użytecznych związków chemicznych.

Była to wiedza, która szła tropami natury, a nowe syntezy organiczne święciły wówczas triumf za triumfem. W rezultacie powstało w tym czasie wiele nowych przemysłów: barwników, leków, włókien sztucznych, mas plastycznych, organicznych materiałów wybuchowych, gazów technicznych oraz nowych metod: elektrolitycznych, elektrotermicznych itd. Ale każdy postęp ma swoje prawa: gdyby nawet zapisało się na rachunku obciążeń że chemia z końca XIX w. wyrugowała w Indiach uprawę indyga naturalnego na obszarze 700 tys. ha a w innych krajach również uprawę marzanny, to należało by równocześnie stwierdzić, że ta sama chemia, stwarzając przemysły nawozów sztucznych wyrównała wszystkie pasywa z ogromną nadwyżką.

Dwie wielkie wystawy światowe w Paryżu, otwarte w 1867 r. i w r. 1900, unaoczniły setkom tysięcy zwiedzających dwa fakty, dające dużo do myślenia. Pierwszym był zdumiewający, wszechstronny i tak szybki rozwój chemii przemysłowej w czasie ograniczonym tymi dwoma datami; drugim było zaskakujące dla wielu zwiedzających stwierdzenie potęgi chemii niemieckiej, która niespostrzeżenie wyprzedziła o duży dystans wszystkie tradycyjne potęgi gospodarcze Europy.

Rozdział VIII

Dalsze zdobycze naukowe i gospodarcze nowoczesnej chemii. 1896 — 1925

Symbioza dwóch dziedzin wiedzy, fizyki i chemii, przyniosła ludzkości i nauce wprost epokowe osiągnięcia. Nie jest też dziełem przypadku, że wielki wkład w rozwój nowoczesnej chemii wnieśli wybitni fizycy, jak Faraday, Gay-Lussac, Lavoisier, Kirchhoff, Avogadro, Wróblewski, Olszewski, Roentgen, Becquerel, Thompson, Rutherford, Bohr, Einstein, Smoluchowski, Onnes i inni, tak samo jak wiele fundamentalnych zagadnień fizyki opracowali i rozwiązali znani chemicy, jak Cavendish, Davy, Dulong, Schönbein, Graham, Bunsen, Cannizzaro, Frankland, Berthelot, Mendelejew, Butlerow, van't Hoff, Moissan, Le Chatelier, Arrhenius, Ostwald, M. Skłodowska-Curie, Piotr Curie, Nernst, Soddy, Langmuir, Urey i wielu innych. Szczególnie jednak liczne, doniosłe i przełomowe osiągnięcia nagromadziły się w wyniku ścisłego współdziałania obu dyscyplin wiedzy na przełomie XIX i XX stulecia.

Pierwszą wielką zdobyczą było odkrycie przez W. K. Roentgena nieznanych dotychczas przenikliwych i chemicznie aktywnych promieni, nazwanych przez niego promieniami *X;* odkrycie to zreferował i zademonstrował Roentgen dn. 23.I.1896 r. na zebraniu Towarzystwa Fizyków i Lekarzy w Würzburgu. W miesiąc później, dn. 24.II na posiedzeniu Akademii Nauk w Paryżu H. A. Becquerel zreferował jeszcze dziwniejsze zjawisko wydzielania przez uran i jego związki szczególnych promieni, oznaczonych wówczas początkowymi literami alfabetu greckiego, jako promienie alfa, beta i gamma, o zdolności przenikania, np. przez czarne papierowe osłony, chroniące płyty fotograficzne przed prześwietleniem. Zagadnienie to stało się jeszcze bardziej interesujące, gdy niebawem Maria Skłodowska-Curie odkryła promieniotwórcze własności toru, a następnie stwierdziła, że blenda smolista, czyli uranit, wykazuje natężenie promieniotwórczości znacznie intensywniejsze niż by to odpowiadało zawartości tylko uranu lub toru w minerale. W 1898 r. Maria i Piotr

Curie wyjaśnili to szczególne zjawisko, wyodrębniając z tych minerałów silniej promieniujący pierwiastek, który nazwali polonem (*polonium*). Pod koniec tego roku małżonkowie Curie znaleźli w blendzie smolistej jeszcze jeden, promieniotwórczy pierwiastek, rad. Tak rozpoczął się w historii nowy rozdział chemii, który po upływie kilku dziesięcioleci wyodrębnił się w chemię i fizykę jądrową.

Maria Skłodowska-Curie

Liczba zaskakujących odkryć w tej dziedzinie zaczęła się zwiększać szybko. Na podstawie szczegółowych badań stwierdzono na początku XX w., że rozpad atomów substancji promieniotwórczych połączony jest z wywiązywaniem ciepła i z emitowaniem promieni alfa, czyli dodatnio naładowanych jąder helu, promieni, beta tj. ujemnie naładowanych elektronów, i gamma o charakterze pokrewnym z odkrytymi przez Roentgena promieniami *X*. Ustalono też, że szybkość rozpadu różnych pierwiastków promieniotwórczych jest różna. W 1900 r. E. Dorn w emanacji radowej odkrył promieniotwórczy gaz nazwany radonem, a w latach 1902—3 dwaj wybitni i sławni później uczeni E. Rutherford i F. Soddy sformułowali pierwszy zarys teorii o rozszczepialności pierwiastków oraz o możliwości rozbijania atomów. W roku następnym W. Ramsay i F. Soddy rozpoznali istotnie pierwiastek hel jako produkt samorzutnego rozpadu emanacji radowej, czyli radonu, podważając w ten sposób niewzruszalnie mocne, jak wydawało się, fundamenty poglądów naukowych na budowę materii. Kilka lat intensywnych studiów i prac badawczych, związanych z nowymi odkryciami zjawisk promieniotwórczości i z ogłoszoną przez W. Crookesa zasadą przemiany materii w energię promienistą dopro-

wadziło do skrystalizowania niektórych ważnych uogólnień w tej dziedzinie. Coraz silniej więc utwierdzało się przekonanie, że sam ciężar atomowy nie zawsze definiuje najistotniej poszczególne pierwiastki; należy odwołać się też do wewnętrznej budowy różnych atomów. Już w 1911 r. E. Rutherford daje pierwsze wskazówki dotyczące hipotetycznej budowy atomu, składającego się z dodatnio naładowanego jądra i z ujemnych elektronów. Liczba tych elektronów zależy od wielkości ładunku jądra. Na podstawie nowej teorii elektronowej i rozwiniętej przez A. Einsteina teorii kwantów, Niels Bohr buduje w 1913 r. pierwszy model atomu, a Soddy wprowadza w tym roku pojęcie izotopów. Od 1919 r. chemia jądrowa rozwija się stale dzięki badaniom takich uczonych jak Rutherford, Soddy, N. Bohr, Langmuir, Chadwick, Cockcroft, Urey, Fermi, Joliot i in., co doprowadza do nowego uszeregowania pierwiastków w układzie okresowym i do nadania szczególnego znaczenia tzw. liczbie atomowej, która odpowiadając liczbie dodatnich ładunków jądra, wyznacza miejsce pierwiastków w układzie okresowym. Potwierdzeniem poglądów teoretycznych stał się wreszcie przełomowy fakt rozbicia w 1919 r. przez E. Rutherforda atomów azotu w wyniku bombardowania cząsteczkami alfa, co doprowadziło do powstania atomów tlenu i wodoru. Do całokształtu tych doniosłych badań i osiągnięć wypadnie jeszcze w tej pracy powrócić; na razie trzeba ograniczyć się do stwierdzenia, że odkrycia te spowodowały zasadniczą zmianę poglądów na istotę materii i charakter reakcji chemicznych, a tym samym zapoczątkowały nowy okres w dziejach chemii.

W wielu innych dziedzinach osiągnięcia teoretyczne i technologiczne były w tym czasie niemniej ważne, a przede wszystkim obfitujące w najdonioślejsze konsekwencje przemysłowe. Jest to właśnie szczególną cechą tego okresu, że główne tendencje odkrywcze i naukowe kierują się wyraźnie w stronę celów praktycznych, a realizowane dzieła uwzględniają w stopniu coraz wyższym wymogi ekonomiczne i racjonalizacyjne. W tych wysiłkach wybijają się na plan pierwszy te rozwiązania technologiczne, na których podstawie wyrosły w ciągu bardzo krótkiego czasu potężne i na wskroś nowoczesne gałęzie przemysłu chemicznego z zakresu paliw ciekłych, nawozów sztucznych, tworzyw sztucznych itp.

Pierwszy wielki łańcuch prac zapoczątkowany został w 1897 r. przez P. Sabatiera i J. B. Senderensa, którzy przeprowadzili szereg reakcji redukcji lub uwodornienia przy użyciu katalizatora niklowego, np. nitrobenzenu do aniliny, acetylenu do węglowodorów nasyconych itd. W 1902 r. procesy uwodornienia katalitycznego znajdują pierwsze zastosowanie praktyczne: W. Norman patentuje metodę utwardzania tłuszczów ciekłych (wodorem wobec aktywnego niklu). Nieco wcześniej kilku badaczy jak Berthelot, Lozanic, Hutgrén, Jowicic i in., dokonało próby

redukcji tlenku węgla wodorem. W 1902 r. Sabatier i Senderens otrzymali metan z tlenku węgla i wodoru ogrzewając mieszaninę tych gazów o stosunku objętościowym 1:3 w temp. 200 — 280°C w obecności katalizatora niklowego pod ciśnieniem atmosferycznym. Podobnie z tlenku węgla i wodoru E. Orłow uzyskał etylen, stosując temperaturę do 100°C i nikiel oraz pallad jako katalizator. Badania te zainteresowały rychło kierownictwo techniczne BASF, a jej pracownicy zgłosili do patentu kilka wariantów metod syntezy węglowodorów ciekłych w reakcjach katalityczno-ciśnieniowych z tlenku węgla i wodoru (od 1913 r.). Stosując ciśnienie ok. 120 atn, temperaturę ok. 360°C i katalizator składający się z tlenków osmu i kobaltu uzyskano (Schneider) mieszaninę węglowodorów i organicznych związków tlenowych. Jednak właśnie ta wielokierunkowość reakcji pomniejszała jej praktyczne znaczenie. W 1921 r. G. Patart uzyskał we Francji patent na wytwarzanie metanolu otrzymywanego katalitycznie z tlenku węgla i wodoru; w roku następnym podobny proces patentują w Niemczech A. Mittasch, M. Pier i K. Winkler. Realizacja tej reakcji na skalę przemysłową następuje bardzo szybko. W 1923 r. ukazuje się w handlu syntetyczny metanol, zyskując od razu zdecydowaną przewagę nad metanolem otrzymywanym przy wytlewaniu drewna. Wyjaśnienie mechanizmu różnorodnych reakcji przebiegających w procesie redukcji tlenku węgla wodorem dali F. Fischer i H. Tropsch. Zmieniając w szerokich granicach skalę stosowanych ciśnień i temperatur oraz rodzaje katalizatorów, badacze ci wyjaśnili warunki, w których tworzą się głównie węglowodory albo organiczne związki tlenowe. W rezultacie w 1922 r. i w latach następnych doszło do opatentowania kilku nowych metod syntezy węglowodorów nasyconych ciekłych (typu benzyny) lub stałych z mieszaniny tlenku węgla i wodoru przy użyciu różnych katalizatorów i ciśnień. Jeszcze inny kierunek badań nad procesami uwodorniania rozwinął się w oparciu o badania F. Fischera i Köhlera, którzy w 1914 r. stwierdzili, że poddając węgiel pirolizie w atmosferze wodoru i pod zwiększonym ciśnieniem uzyskuje się w dużych ilościach węglowodory ciekłe, przy czym ilość stałej „pozostałości koksowej" jest odwrotnie proporcjonalna do zastosowanego ciśnienia. Zadanie to podjęli następnie Bergius i Billwiller, którzy w drugiej połowie 1915 r. zgłosili do opatentowania metodę uwodorniania paliw stałych i olejów ciężkich na benzynę w wyższych temperaturach i przy stosowaniu ciśnień rzędu 100—200 atn oraz odpowiednich katalizatorów. Wobec bardzo szybko postępującej motoryzacji i rozpowszechnienia jak się później okazało błędnej opinii o rychłym wyczerpaniu zasobów ropy naftowej, było to osiągnięcie wielkiej wagi, tworzące pomost technologiczny pomiędzy paliwami stałymi i ciekłymi. Jednak czasy wojny nie były momentem sprzyjającym dla realizacji tej koncepcji, wymagającej jeszcze

wielu usprawnień ruchowych. Dopiero w 1922 r. zbudowano instalację techniczną na przerób prasmoły z wytlewania węgli brunatnych, a następnie rozwinięto na dużą skalę — głównie w Niemczech uzależnionych wówczas całkowicie od dowozu benzyny — produkcję węglowodorów typu naftowego na podstawie patentów Bergiusa i Billwillera.

Drugi wielki kompleks zagadnień technologicznych wiąże się z produktami azotowymi. I w tym przypadku przyspieszyło ewolucję błędne mniemanie, sformułowane najdobitniej przez W. Crookesa w 1898 r. na publicznej konferencji w Bristolu, że z powodu szybkiego wyczerpania się złóż saletry chilijskiej, stanie przed ludzkością już ok. 1960 r. widmo nieuchronnego głodu. Wprawdzie zapasy saletry nie uległy wyczerpaniu, ale wysiłki twórcze zostały wprawione w wielu środowiskach w ruch. Baczną uwagę skierowano wówczas na ten niewyczerpalny zbiornik azotu, który nad każdym kilometrem kwadratowym powierzchni kuli ziemskiej zawiera w powietrzu ok. 8 mln ton wolnego azotu. Odtąd też mnożyły się przeróżne koncepcje wykorzystania powietrza do wytwarzania użytecznych pochodnych azotowych. Na podstawie dawniejszych obserwacji na pierwszy plan wysunęła się myśl bezpośredniego wiązania azotu atmosferycznego z tlenem w temperaturze łuku elektrycznego w celu uzyskania tlenków azotu.

W latach 1903—4 ogłoszone zostały prawie w tym samym czasie dwie metody uzyskiwania tlenków azotu, w łuku elektrycznym, mianowicie metoda Birkelanda i Eydego w Norwegii oraz metoda I. Mościckiego w Szwajcarii. Obie zostały później zastosowane na skalę przemysłową. W latach następnych metody te zostały udoskonalone, a ponadto opatentowano szereg ich odmian, np. metodę Paulinga, Schönherra i in.[1]

Inna zasada wiązania azotu atmosferycznego oparta była na zdolności niektórych węglików reagowania w pewnych warunkach z azotem. Produktem takiej reakcji był np. cyjanoamidek wapnia otrzymany po raz pierwszy w 1878 r. przez G. Meyera. Wiązanie azotu przez węglik baru stwierdzili w 1895 r. A. Frank i N. Caro. Odtąd wielu badaczy studiowało te procesy[2], lecz dopiero w 1898 r. F. Rothe przy współpracy A. Franka ustalił dokładnie schemat tego typu reakcji, w szczególności reakcji azotowania węgliku wapnia do cyjanoamidku. Ullmann podaje[3], że wyniki badań Rothego opatentowali Frank i Caro. Wreszcie Freudenberg wpadł pierwszy na pomysł zastosowania cyjanoamidku wapniowego (azotniaku) jako zasadowego nawozu sztucznego; przeprowadzone doświadczenia potwierdziły słuszność tego przypuszczenia. Jednakże przy

[1] *Technologia związków azotowych*, praca zbiorowa pod redakcją W. Bobrownickiego, tom II. PWT, Warszawa 1956.

[2] *Z. angew. Chem.*, 658 (1903).

[3] Ullmann F., *Enzyklopädie der technischen Chemie*, Wyd. I. T. III str. 206.

realizacji procesu na skalę przemysłową wyłoniły się poważne trudności technologiczne, głównie w związku z wysoką temperaturą azotowania. Pierwsze użyteczne rozwiązanie dał F. Polzeniusz, Polak, chemik fabryki akumulatorów we Frankfurcie n. M.; w 1901 r. opatentował metodę, polegającą na domieszaniu do rozdrobnionego karbidu substancji działającej katalitycznie (np. fluorku lub chlorku wapniowego), umożliwiającej obniżenie temperatury azotowania nawet o 400—500 °C. Patent Polzeniusza wyzyskała firma Gesellschaft für Stickstoffdünger, A. G., która w 1905 r. wypuściła na rynek po raz pierwszy nowy nawóz azotowy. W tym czasie koncepcja Franka i Caro wstępnego podgrzewania karbidu metodą oporową, w piecu służącym do azotowania, zastosowana w budującej się fabryce azotniaku w Piano d'Orta, okazała się tak prosta i korzystna, że została powszechnie przyjęta.

Aż do końca XIX w. operowano praktycznie i na dużą skalę tylko dwoma typami nawozów azotowych: kosztowną ze względu na cło wywozowe saletrą chilijską oraz siarczanem amonowym, produktem ubocznym, uzależnionym ściśle od ilości wytwarzanego koksu. Od początku XX w. zaczęły przybywać nowe produkty z fabryk pracujących metodami łukowymi i metodą cyjanamidową. Równocześnie jednak wzrastało coraz bardziej zapotrzebowanie na związki azotowe do celów technicznych, nie nawozowych, a więc głównie na azotany i kwas azotowy. Toteż zwrócono ponownie uwagę na koncepcję Kuhlmana z 1838 r. zmierzającą do katalitycznego utleniania amoniaku do tlenków azotu i następnie do kwasu azotowego. Szczegóły technologiczne takiego procesu opracował w 1903 r. W. Ostwald; niemiecki urząd patentowy odrzucił jednak zgłoszenie Ostwalda, powołując się na pierwszeństwo Kuhlmana. Natomiast inne kraje, jak Wielka Brytania udzieliły ochrony patentowej tej metodzie która polega na utlenianiu amoniaku tlenem powietrza przy przepuszczaniu mieszaniny przez rozżarzoną, delikatną siatkę platynową lub platynowo-irydową. Pewnym hamulcem rozwoju i stosowania tej metody było to, że amoniak dostarczany przez koksownie lub pochodzący z rozkładu azotniaku gorącą wodą pod ciśnieniem był drogi, a ponadto zanieczyszczony substancjami, które w krótkim czasie zatruwały katalizator. Tym usilniej więc myśl techniczna nawracała do prób syntezy amoniaku z pierwiastków. Przynajmniej w założeniu synteza ta wydawała się prosta, ilość produktu mogła być nieograniczona, a czystość amoniaku byłaby bez zarzutu. Teoretyczne warunki tej syntezy określił już w r. 1901 Le Chatelier. Kinetyka procesu wymagałaby poddania mieszaniny azotu i wodoru w stosunku objętościowym 1:3 działaniu dość wysokiej, a więc dla trwałości amoniaku niekorzystnej temperatury. Z powodu znacznej redukcji objętości reagujących gazów celowe byłoby również zastosowanie wysokiego ciśnienia. Wielu wybitnych uczonych

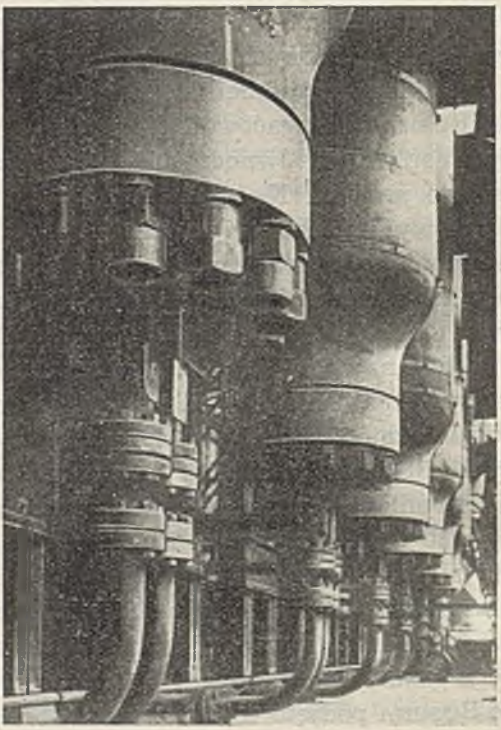
jak Nernst nie prorokowało tym usiłowaniom praktycznego powodzenia. Również F. Haber i van Oordt stwierdzili w 1904 r. bardzo ograniczoną zdolność wiązania się azotu z wodorem. Niemniej jednak wszechstronne prace badawcze były prowadzone dalej. Wskazywały one, że realizacja procesu zależy od zastosowania wysokich ciśnień i znalezienia znacznie aktywniejszych katalizatorów, w celu obniżenia temperatury reakcji. Trzeba jednak mieć na uwadze, że w tym czasie nie stosowano jeszcze w przemyśle bardzo wysokich ciśnień; również nie wytwarzano na skalę wielkoprzemysłową wodoru ani azotu i nie wypracowano precyzyjnych metod oczyszczania tych gazów itd. Należało więc pokonać rozliczne i dość zawiłe trudności uboczne, niezależnie od zasadniczego zagadnienia technologicznego. Wówczas BASF zaoferowała F. Haberowi współpracę sztabu naukowców i doświadczonych technologów w celu przyspieszenia rozwiązania tego doniosłego zagadnienia[4]. Istotnie w latach 1908—09 F. Haber i R. de Rosignol opracowali pierwsze zgłoszenia patentowe na metodę syntezy amoniaku, a równocześnie A. Mittasch ustalił warunki technologiczne tego procesu. Na podstawie dotychczasowych badań uzyskano zachęcające wyniki: przy użyciu katalizatora osmowego doprowadzono stężenie amoniaku w mieszaninie do 8%, a przy zastosowaniu kontaktu uranowego, ciśnienia 125 atn i temperatury ok. 500 °C zwiększono to stężenie nawet do 11,9%. Odtąd dalsze usprawnienia i udoskonalenia posuwały się szybko naprzód. Dla BASF obok wcześniejszych syntez alizaryny i indyga synteza amoniaku stała się nowym źródłem potęgi koncernu. W 1911 r. uruchomiona została w Oppau instalacja półtechniczna, na której technicy BASF pod kierunkiem K. Boscha rozwiązywali jedną trudność za drugą. Stopniowo instalację powiększano, a w 1913 r. podjęto w Oppau produkcję 30 t. NH_3 na dobę. Potrzebny w fazie początkowej wodór wytwarzano z gazu wodnego przez skraplanie innych składników gazu; później posłużono się znacznie korzystniejszą metodą katalitycznej konwersji gazu wodnego z parą wodną, a od 1920 r. stosowano również wodór wydzielany z gazu koksowniczego. Należy wreszcie zaznaczyć, że na podstawie prac Boscha podjęto w BASF od 1913 r. produkcję mocznika na skalę przemysłową. Był to więc okres wielkiego triumfu przemysłu chemicznego. W ciągu bardzo krótkiego czasu metody technologiczne nie tylko unicestwiły faktyczny monopol saletry chilijskiej i zepchnęły ją na pozycje drugorzędne, nie tylko otwarły dla rolnictwa światowego nieograniczone źródło dostaw coraz tańszych nawozów azotowych, ale ponadto zademonstrowały dobitnie zdumiewające osiągnięcia racjonaliza-

[4] Wyczerpujące szczegóły zawarte są w publikacji: *Technologia Związków Azotowych*, t. I., Cz. II, str. 491, oprac. E. Błasiaka. Ponadto: Grossmann H., *Die Stickstoff-Industrie der Welt*, Berlin 1930, str. 77 i w. in.

cyjne. Według oceny z 1919 r. jeden kW dostarczał wówczas w ciągu roku następujące ilości azotu związanego:

metodą łukową (Birkelanda — Eydego)	130 kg N_2
metodą cyjanamidkową (Franka — Caro)	380 kg N_2
metodą amoniakalną (F. Habera)	830 kg N_2

Stopniowo amoniak syntetyczny znalazł zastosowanie do produkcji nie tylko ogromnych ilości nawozów azotowych, lecz również jako surowiec do produkcji kwasu azotowego, materiałów wybuchowych, sody, barwników, leków, tworzyw plastycznych, włókien syntetycznych, żywic lakierów oraz jako czynnik chłodniczy.



Reaktory do katalitycznej syntezy amoniaku

Trzecia ważna grupa odkryć i prac zapoczątkowanych w tym czasie dotyczyła wszelkiego rodzaju tworzyw sztucznych i kauczuków syntetycznych. Badania własności i budowy chemicznej kauczuku oraz próby znalezienia materiału zastępczego podjęte zostały jeszcze w połowie ubiegłego wieku. W latach 1875—79 G. Bouchardat spolimeryzował izopren, uzyskując tworzywo podobne do kauczuku. Analogiczne doświadczenia przeprowadził W. A. Tilden w 1892 r. Wyczerpujące badania do-

tyczące izoprenu i pochodnych butadienu, a zwłaszcza dwumetylobutadienu dokonane były w okresie 1897—1908 r. przez W. Ipatiewa, J. Kondakowa, Ostromyslenskiego, C. Harriesa, Faworskiego, F. Hoffmanna, S. Lebiediewa i in. Tak np. Hoffmann polimeryzował izopren w wyższych temperaturach i pod zwiększonym ciśnieniem oraz wskazał na butadien jako właściwy surowiec do produkcji tworzyw o właściwościach kauczuku. Uzyskiwane jednakże wówczas w pracowniach produkty były mało elastyczne i jeszcze mniej odporne na wyższe temperatury i wpływy chemiczne. Tymczasem bardzo szybko wzrastało światowe zapotrzebowanie na kauczuk, a w konsekwencji i ceny kauczuku naturalnego miały na ogół tendencję zwyżkową[5]. W 1900 r. sumaryczne zużycie kauczuku nie osiągało 50 tys. ton, a w ćwierć wieku później przekroczyło już 500 tys. ton[6]. Toteż niemałe znaczenie miał fakt dokonania przez S. Lebiediewa w 1908 r. syntezy kauczuku butadienowego. Odtąd zaczęły się mnożyć zgłoszenia patentowe, ale dopiero przymusowe warunki wywołane przez drugą wojnę światową podniosły produkcję kauczuków syntetycznych do znaczenia światowego.

Ogromny postęp był w tym czasie udziałem syntezy tworzyw sztucznych. Początkowo koncentrowano wysiłki na modyfikowaniu własności surowców naturalnych, przede wszystkim celulozy. Później program badań stale rozszerzał się. Pod koniec ubiegłego wieku Spitteler i Krische odkryli i opatentowali nowe tworzywo, zwane galalitem, uzyskiwane przez działanie formaldehydu na kazeinę. Na początku bieżącego wieku podjęto produkcję przemysłową tego tworzywa. Istniała jednak od dawna świadomość, że substancje modyfikowane mają wiele cech ujemnych. Pochodne nitrocelulozowe były łatwopalne i zmieniały barwę pod wpływem światła; tworzywa kazeinowe zaś były mało odporne na działanie wody. W 1894 r. C. Cross i E. F. Bevan estryfikując celulozę bezwodnikiem octowym uzyskali acetylocelulozę, z której można było uzyskiwać folię i nowe tzw. octanowe włókno sztuczne. Przez pewien czas wiązano wielkie nadzieje z tym odkryciem. Wagner opatentował metodę wytwarzania jedwabiu sztucznego z acetylocelulozy; Lederer kładł główny nacisk na otrzymanie w ten sposób nowego plastomeru, a Eichengrün i Becker chronili patentem zastosowanie tego tworzywa do wyrobu filmów fotograficznych. Jednakże te nadzieje, wyrażające się wkładem dużych kapitałów i ogromną ilością zgłoszonych do patentu pomysłów nie ziściły się w całej pełni[7]. Przede wszystkim wyłoniły się pewne trudności technologiczne przy uzyskiwaniu jednorodnego produktu; materiał

[5] Kiełbasiński St., *Kauczuki i Tworzywa Sztuczne*, Łódź 1954, str. 122.
[6] *Encyklopedia Nauk Politycznych*, Warszawa 1938, t. III, str. 107. Kauczuk.
[7] Ullmann F., *Enzyklopädie*, Wyd. I. t. I. Acetocellulose.

był dość drogi, trudno rozpuszczalny i niedostatecznie odporny na wilgoć. Lepsze wyniki uzyskano po zmianie metody polegającej na wytwarzaniu octanu celulozy, rozpuszczalnego w acetonie[8]; odtąd produkcja włókna octanowego wykazuje umiarkowany rozwój.

Równie poważne znaczenie miało odkrycie L. H. Baekelanda (1907—8 r.) metody wytwarzania termoutwardzalnego tworzywa przez polikondensację fenoli z formaldehydem; ponieważ proces kondensacji można było przerywać w dowolnym punkcie, uzyskiwano przeto tzw. fenoplasty (bakelity) o różnych cechach fizycznych i chemicznych. Niebawem też fenoplasty stały się surowcem do produkcji rozlicznych przedmiotów stosowanych w technice i w gospodarstwie domowym. Istotne znaczenie tego odkrycia polegało na tym, że po raz pierwszy zsyntezowano makrocząsteczkę o właściwościach tworzyw sztucznych z substancji małocząsteczkowych i nie plastycznych. W związku z tym można podkreślić, że na parę lat przed pierwszą wojną światową i bezpośrednio po niej wielu badaczy, jak Einhorn, Hamburger, Pollak, Wirth a przede wszystkim Staudinger, Willstätter i in., podjęli wnikliwe studia nad procesami polimeryzacji oraz syntezą różnych tworzyw sztucznych z innych materiałów wyjściowych, które istotnie doprowadziły szybko do imponujących rezultatów.

Czwarta grupa osiągnięć naukowych przeszczepionych niezwłocznie do techniki przemysłowej wiąże się z syntezą barwników. Oczywiście, że okres wybuchowych i przełomowych dokonań w tej dziedzinie już przeminął; wydawać się nawet mogło, że zostały przebadane i przekontrolowane wszystkie teoretyczne możliwości nowych rozwiązań. Niemniej jednak przejawiła się i tu twórcza działalność, wpisując do historii chemii niejedno osiągnięcie o dużym znaczeniu. W tabelarycznym ujęciu G. Schultza z 1902 r. figuruje 681 barwników wytwarzanych przemysłowo. W wydaniu z 1914 r. tablice te wymieniały już 923 barwniki, w czym prawie połowa przypadała na barwniki azowe[9]. Ogromny rozwój tego przemysłu ilustruje m. in. to, że w końcu produkcja syntetycznego indyga zastępowała uprawę rośliny indygowej w Indiach na obszarze ok. 600 tys. ha[10]. Równocześnie technologia tego barwnika ulegała dalszej zmianie. Fabryka w Höchst zastosowała nową, uproszczoną metodę K. Heumanna. Surowcem dla syntezy była anilina, którą przy użyt-

[8] F. Sherwood Taylor, *A History of Industrial Chemistry*, W. Heinemann, London 1957, str. 256.

[9] Schultz G., *Farbstoff-tabellen*, Weidmannsche Buchhandlung, Berlin 1914; Ost H., *Lehrbuch der chemischen Technologie*, Dr. H. Jänecke Leipzig 1920, str. 641.

[10] Bucherer H. T., *Lehrbuch der Farbenchemie*, Otto Spamer-Verlag, Leipzig 1921, str. 493.

ciu kwasu chlorooctowego przetwarzano w fenyloglicynę, a tę przez stapianie alkaliczne przeprowadzano w indoksyl[11]. Ujemną stroną tej pomysłowej metody była niska wydajność indyga, powodowana stosunkowo wysoką temperaturą procesu stapiania alkalicznego. Nieoczekiwanie i pomyślnie zagadnienie to zostało rozwiązane w 1899 r. przez współpracownika firmy Degussa Pflegera, który stwierdził, że w obecności amidku sodowego fenyloglicyna przechodzi w indoksyl w niższej temperaturze, dzięki czemu wydajność indyga wzrasta z 13% do ok. 75% wydajności teoretycznej. Od 1904 r. fabryka w Höchst wytwarza tą metodą duże ilości tego barwnika.

Wielki postęp w zakresie chemii organicznej a bezpośrednio i sama synteza indyga stworzyły nowe możliwości wytwórcze. W pierwszym dziesięcioleciu naszego wieku szwajcarska firma Ciba rozwinęła na znaczną skalę produkcję barwników grupy indygoidowej; niemiecka firma Kalle z inicjatywy P. Friedländera zaczęła wytwarzać czerwień i szkarłat tioindygowy, a Bayer u. Co. podjął produkcję cennych barwników, pochodnych antrachinonu, tzw. algolowych. Szczególne znaczenie miało też odkrycie R. Bohna z BASF syntezy barwników kadziowych z grupy indantrenu. W opinii ówczesnych odbiorców uzyskano cudowny, niebieski barwnik kadziowy (tj. błękit indantrenowy), który swymi zaletami kolorystycznymi i trwałością przewyższał nawet indygo. W 1909 r. P. Friedländer zidentyfikował znany w starożytności barwnik, purpurę tyryjską jako *p,p'*-dwubromoindygo. Wspomniano już o tym, że wielkim osiągnięciem poprzedniego okresu była metoda wywoływania barwników bezpośrednio na włóknie. Obecnie do reakcji sprzęgania zastosowano nowe składniki bierne nazywane początkowo „naftolami AS", a później „naftoelanami", które w reakcji z produktami dwuazowania różnych amin aromatycznych dawały barwniki o doskonałych efektach kolorystycznych na włóknie.

W tym czasie ujawniły się pierwsze reakcje przeciwko faktycznemu uprzywilejowaniu niemieckiego przemysłu barwników przez interpretację ustaw patentowych w Europie zachodniej. Przykładem takiej akcji było zdecydowane wystąpienie brytyjskiej firmy Levinstein przeciwko odmowie koncernu niemieckiego MLB (Höchst) sprzedania licencji na produkcję kilku ważnych dla Anglii barwników. Sporną sprawę poddano w końcu arbitrażowi. Okazało się przy tym, że ani jeden z tych barwników nie miał ochrony patentowej w kraju macierzystym, tj. w Niemczech, z powodu braku cech nowości; uzyskał ją natomiast w Anglii. Ale właściciel patentu nie chciał ani sam uruchomić ich produkcji w Anglii,

[11] Kwiatkowski E., *Nowoczesna Chemia Przemysłowa*, PWT, Warszawa 1957, str. 480—481.

ani też udzielić odpłatnej licencji firmie brytyjskiej. Ostatecznie kosztowny i długotrwały arbitraż zmusił firmę Höchst do wydania żądanej licencji. Sprawa ta poruszyła opinię publiczną Anglii do tego stopnia, że ówczesny prezydent „Board of Trade" Lloyd George przeprowadził w 1907 r. nowelizację ustawy patentowej w tym sensie, iż właściciel patentu będzie zobowiązany do realizowania swego wynalazku w Wielkiej Brytanii, jeżeli tylko dany produkt będzie wytwarzany gdziekolwiek zagranicą. Prawdziwe trudności w tych dziedzinach, złagodzone chwilowo, przejawiły się jednak z całą ostrością w parę lat później.

Jeżeli w zakresie barwników syntetycznych szczytowa fala odkryć i osiągnięć przeminęła już na przełomie XIX i XX w., to w dziedzinie syntezy leków istotny rozwój zaczął się dopiero pod koniec ubiegłego stulecia. Rola pracowni aptecznych jako wyłącznych wytwórców leków uległa wówczas znacznemu ograniczeniu. Odtąd syntezy dokonywane przeważnie w halach fabrycznych wielkich wytwórni barwników zaopatrują najszersze warstwy społeczeństw w przeróżne preparaty farmaceutyczne. Początkową fazę ewolucji charakteryzuje następująca informacja: niemiecki podręcznik farmakopei z lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku zna zaledwie 13 syntetycznych preparatów organicznych, podobny podręcznik z 1910 r. zawiera już ok. 300 preparatów, wytwarzanych fabrycznie. Równocześnie dostrzega się jeszcze inne, znamienne zjawisko. Mianowicie produkcja fabryczna, podobnie jak w przypadku barwników, atakuje z miejsca tradycyjny konserwatyzm stosowania czasem wręcz nieodpowiednich leków. Każdy nowy preparat syntetyczny, wypróbowany wielokrotnie przez fachowe zespoły naukowe i fabryczne, dopuszczony do praktyki leczniczej niekiedy dopiero po upływie wielu lat, podlega dalszej kontroli i krytyce z najróżniejszych punktów widzenia. Często bowiem może on wykazywać niekorzystne działanie uboczne na organizm ludzki, w sporadycznych przypadkach może mieć własności toksyczne w stopniu zbyt wysokim, czasem jest dość drogi. Wszystko to skłania rywalizujące ze sobą wytwórnie do poszukiwania innych, skuteczniejszych, bezpieczniejszych lub tańszych leków syntetycznych. Te tendencje można sprawdzić na przykładzie kokainy, środka stosowanego do miejscowych znieczuleń, ale silnie toksycznego. Jako preparat zastępczy wprowadziła więc fabryka Scheringa w 1896 r. syntetyczną eukainę i kilka jej odmian; w roku następnym koncern MLB (Höchst) wprowadził nowy środek anestezujący holokainę, otrzymaną przez Taubera przez kondensację fenacetyny z *p*-fenetydyną. W 1904 r. E. Fourneau przeprowadził syntezę stowainy, która znalazła szersze zastosowanie jako substancja mało toksyczna, a silnie znieczulająca. Wreszcie w 1905 r. fabryki w Höchst wprowadziły do użytku nowy preparat pod nazwą nowokainy, zsyntezowany przez Einhorna i Uhlfeldera. Praktycznie wyparł on wszystkie inne

preparaty stosowane do miejscowego znieczulania jako substancja nie toksyczna, nie drażniąca, łatwo rozpuszczalna i stosunkowo tania. Działanie tego preparatu udoskonalono następnie przez dodawanie wyciągu z nadnercza, co powodowało zwężenie naczyń krwionośnych znieczulanego miejsca. Niebawem uczony japoński TAKAMINE izolował z nadnercza czynną substancję, adrenalinę, która stała się wybitnym środkiem zwężającym naczynia krwionośne. Ten pierwszy alkaloid izolowany z organizmu zwierzęcego, andrenalinę, zsyntetyzowano później w pracowniach firmy MLB w Höchst. Tak mnożyły się z roku na rok ważne nowości z zakresu preparatów leczniczych, a lepsze i cenniejsze leki zastępowały środki mniej doskonałe. W 1890 r. MERING i MINKOWSKI wydzielili hormon białkowy, insulinę, regulujący ilość cukru we krwi. KNOLL wytworzył kodeinę, a MERING uzyskał szereg pochodnych morfiny i kodeiny. Firma Bayer wyprodukowała w 1898 r. heroinę, tj. dwuacetylomorfinę. Badania E. FISCHERA w zakresie związków ksantynowych i zasad purynowych doprowadziły do syntezy metylopochodnych teobrominy, kofeiny i teofiliny, a W . TRAUBE uprościł znacznie technologię tych syntez. W tym czasie rozwinięto produkcję różnych takich antyseptyków, jak kwas salicylowy, salol, diplosal oraz wielu substancji przeciwgorączkowych (antypiretyków), wśród których kwas acetylosalicylowy (aspiryna, polopiryna) otrzymana przez WITTHAUERA, a produkowana na skalę przemysłową metodą opracowaną przez A. EICHENGRÜNA i zbadana klinicznie przez H. DRESERA zdobyła tak szybko najszersze uznanie. Również grupa preparatów stosowanych do dezynfekcji wzbogaciła się w tym czasie w takie produkty, jak gwajakol, chinozol, dermatol, kseroform i wiele innych. Od 1903 r. duże znaczenie zyskały preparaty pochodne kwasu barbiturowego, jak np. produkowane przez Bayera, Mercka, Höchst i in. środki nasenne, weronal, luminal (1912 r.), dial (1914 r.) oraz preparaty bromoizowalerylo-mocznikowe, jak zsyntetyzowany w firmie Knoll przez SAAMA bromural (1902—7 r.), adalina (Bayer) itd. Wśród wielu nowych i wartościowych substancji znajdujących coraz szerszy zbyt można znaleźć tak znane leki, jak salipiryna, piramidon, euchinina, walidol, fenacetyna, helmitol, błękit metylenowy, atoksyl, diplosal, pantopon, atofan, parakodina, allotropina, nowalgina itd.

Równolegle wytwarzano również w coraz większym asortymencie nieorganiczne preparaty farmaceutyczne: arsenowe, rtęciowe, srebrowe, jodowe, bromowe, żelazowe, selenowe, bizmutowe itp. oraz mieszane, organiczno-nieorganiczne, których pozycję w lecznictwie ugruntowali A. MICHAELIS, W. LA COSTA, BÉCHAMP, L. BENDA, A. BERTHEIM, a przede wszystkim P. EHRLICH odkrywca wprowadzonego do lecznictwa w 1912 r. salvarsanu.

Tymczasem obok wielkich i ekonomicznie ważnych osiągnięć gromadziły od początku bieżącego wieku się również i inne trwałe i cenne pozycje w zakresie chemii. Przede wszystkim przybywały nowe materiały, opracowywano nowe reakcje i metody przetwórcze. Mnożące się z każdym dziesięcioleciem czasopisma fachowe przepełnione są w tym czasie informacjami o wprowadzeniu do użytku technicznego nowych materiałów odpornych na różne odczynniki chemiczne, na działanie wysokich temperatur i wysokich ciśnień, na niszczące skutki korozji. Na każdym kroku spotyka się przejawy walki z wszelkim marnotrawstwem, a tendencje racjonalizacyjne dominują w całym przemyśle chemicznym. Zjawiły się paleniska pyłowe, olejowe, gazowe, systemy regeneracji i rekuperacji ciepła, urządzenia przeciwprądowe. We wszystkich większych zakładach przemysłowych prowadzono na bieżąco bilanse energetyczne i materiałowe, a walka o polepszenie wskaźników wydajności zataczała coraz szersze kręgi.

Zanotowano też znaczne postępy w dziedzinie koksownictwa i gazownictwa. Na początku bieżącego wieku z sumarycznej ilości pieców koksowych urządzenia do odzyskiwania produktów ubocznych posiadało w Belgii 80% pieców, w Niemczech 30%, w Anglii 10% i w USA zaledwie 2,5%. Odtąd sytuacja w tym zakresie zaczęła ulegać tak samo szybkiej zmianie, jak szybko wzrastała produkcja koksu, dochodząca w 1925 r. do 108 mln ton. Stare metody okresowe są systematycznie rugowane z produkcji na rzecz procesów ciągłych. Zresztą chemia pretenduje do pierwszeństwa w stosowaniu metod ciągłych na wiele dziesięcioleci wcześniej niż przemysł mechaniczny. Metodę ciągłą stosowano do produkcji kwasu siarkowego od przeszło 100 lat. Później ciągłość ruchu zastosowano przy zgazowywaniu węgla i innych paliw stałych, przy destylacji ropy naftowej, smoły węglowej, wytwarzaniu fosforu, amoniaku, karbidu i wielu półproduktów organicznych. Niebawem wyłoniło się inne jeszcze zagadnienie, mianowicie standaryzacji wytworów chemicznych oraz normalizacji niektórych metod pracy. Stwierdzony w tym czasie znamienny fakt wypierania z rynków światowych innych cementów przez produkt niemiecki, wiązał się ściśle z wprowadzeniem w Niemczech jednolitych norm jakościowych i sposobów badania cementu. Do 1912 r. 118 dużych niemieckich cementowni zobowiązało się dobrowolnie do przestrzegania tych norm. Rezultaty akcji normalizacyjnej w chemii były tak oczywiste i pomyślne, że niebawem zyskała ona znaczenie międzynarodowe. W 1909 r. Międzynarodowy Kongres Chemii Czystej i Stosowanej zalecił publikowanie norm krajowych; zaczęto wydawać corocznie *Tables annuelles de constantes et données numeriques de Chimie, de Physique, de Biologie et de Technologie*. Zawarte zostało bardzo ważne porozumienie międzynaro-

dowe o standaryzacji metod analitycznych do badania surowców i produktów chemicznych [12].

Zasada możliwie pełnego wyzyskania produktów ubocznych i odpadkowych stała się w tym czasie powszechnie obowiązująca. Wprowadzone lub udoskonalone zostały metody absorpcji, adsorpcji, destylacji azeotropowej, elektrostatycznego odpylania, selektywnej ekstrakcji itp. Przyswojenie przemysłowi chemicznemu nowych reakcji katalitycznych umożliwiło zrealizowanie szeregu procesów przetwórczych o dużym znaczeniu gospodarczym, poczytywanych dawniej za leżące poza granicami możliwości. Na takich właśnie podstawach powstał przemysł utwardzania tłuszczów, wytwarzania azotniaku metodą Polzeniusza, powstała produkcja kwasu siarkowego metodą kontaktową, kwasu azotowego, kwasu ftalowego, amoniaku, metanolu, węglowodorów, opracowano rozliczne syntezy oraz wiele jednostkowych procesów organicznych [13].

Olbrzymią ewolucję w ciągu krótkiego czasu przeszły procesy elektrochemiczne z punktu widzenia zarówno technologicznego, jak ekonomicznego. Od roku 1859, w którym pani Lefèbre uzyskała pierwszy patent na wytwarzanie kwasu azotowego przez utlenianie azotu powietrza wobec wyładowań elektrycznych, do 1909 r. wielkość i znaczenie osiągnięć w dziedzinie elektrochemii jest zdumiewające. Zastosowanie generatorów elektrycznych i transformatorów rozszerzyło możność posługiwania się prądem w operacjach chemicznych. Główny jednak wkład należy do nauk chemicznych. Niebawem procesy elektrolityczne wypierały systematycznie z techniki i przemysłu metody konkurencyjne. W omawianym okresie wprowadzono do użytku anody grafitowe i magnetytowe, katody rtęciowe, półprzepuszczalne przegrody pionowe i poziome, opracowano metody bezprzegrodowe i metody dzwonowe z przepływającym elektrolitem od anody do katody i ciągły system pracy, wytwarzając w ten sposób w coraz większych ilościach takie produkty, jak soda kaustyczna, chlor, chloran, nadchloran potasu i wiele innych.

W zakresie elektrotermii uruchomiono wytwórnie związków azotowych, karbidu, karborundu, szkła kwarcowego, fosforu, grafitu, dwusiarczku węgla, żelazo-krzemu, sodu, potasu, magnezu, aluminium, zakłady rafinacji miedzi, stali i różnych stopów metali itd. W 1906—7 przemysł chemiczny dysponował już nowoczesnym, ciągłym, trójfazowym piecem karbidowym konstrukcji Helfensteina o mocy 10 tys. KM.

Do osiągnięć chemii można w tym czasie zaliczyć wiele innych interesujących i nowych pozycji. Odkryto gazy szlachetne, w instalacjach

---

[12] *Repts. Progr. Appl. Chem.* t. 38, (1953).

[13] Trepka E., *Historia Kolorystyki*, PWN, Warszawa 1960, str. 137. Ullmann F., *op. cit.*, t. V., str. 683 i t. IX., str. 430—431.

skonstruowanych przez K. Lindego skroplono powietrze na skalę techniczną; w 1908 r. został wreszcie skroplony jeden z najoporniejszych gazów „trwałych", tj. hel, w temp. −268,8°C. Podjęto też pierwsze, na razie niezupełnie udane próby scukrzenia celulozy na skalę przemysłową i przetwarzania uzyskanej glikozy na alkohol; w Szwecji zaś zapoczątkowano w 1907 r. przerób ługów posiarczynowych z fabryk celulozy na alkohol; rozwinięto wiele syntez, jak np. synteza kamfory w fabrykach Scheringa w 1901 r., nikotyny przez A. Picteta i Retschy'ego w 1904 r. i szereg innych. A gdy realizowano krok za krokiem hasło rzucone przez H. L. Le Chateliera, profesora Sorbony i niestrudzonego wychowawcy licznych pokoleń chemików różnych narodowości [14], głoszące ścisły i bezpośredni związek nauki z praktyką przemysłową, gdy w usilnej współpracy międzynarodowej budowano potężny gmach wiedzy chemicznej, gdy spiętrzały się bez przerwy przełomowe osiągnięcia gospodarcze chemii mające na celu zaspokojenie w całej pełni istniejącego już zapotrzebowania na chemikalia ze strony rolnictwa, przemysłu, przyszedł nagle i nieoczekiwanie niszczący i katastrofalny wstrząs roku 1914, pierwsza wojna światowa.

Normalny, pokojowy i twórczy bieg ewolucji sparaliżowany został na szereg lat również w dziedzinie chemii; zewnętrznie historia wymiany doświadczeń w skali międzynarodowej, historia odkryć, wynalazków, tendencji postępowych — w tej psychozie powszechnego niszczenia dorobku kilku generacji — staje się anemiczna. W rzeczywistości jednak właśnie dopiero teraz rozpoczyna się dotkliwa lekcja poglądowa o istotnym znaczeniu chemii dla całokształtu gospodarstwa narodowego krajów wojujących. A konsekwencje tej nauki wyryły tak wielki i trwały ślad w dziejach chemii, że wymagają nieco dokładniejszej analizy i oceny.

Jest zrozumiałe samo przez się, że gdy tylko rozwiały się optymistyczne przewidywania militarystów, polityków i ekonomistów o krótkotrwałości tej wojny, natychmiast musiały się wyłonić niepokojące zagadnienia materiałowe. Przeliczając dobowe zużycie materiałów wybuchowych na saletrę sodową uzyskuje się następujący, pouczający obraz: w czasach sukcesyjnej wojny hiszpańskiej na początku XVIII w. średnie zapotrzebowanie dzienne na saletrę wynosiło 5 t; w okresie wojen napoleońskich wahało się od 30 do 50 t, natomiast w okresach szczytowego natężenia pierwszej wojny światowej 10 tys. t. saletry dziennie. Pomiędzy okresem pokojowym i końcowym etapem wojny roczna produkcja kwasu azotowego (w przeliczeniu na kwas 100-procentowy) wzrosła we Francji z 15 tys. na 600 tys. ton; w Italii z 22,8 na 85 tys. ton i w USA z 90 tys. na 875 tys. ton.

[14] Zawidzki J., *Roczniki Chem.* 2, 107, (1922).

W zamkniętych blokadą państwach centralnych, pomimo energicznego gromadzenia zapasów, a zwłaszcza saletry chilijskiej przez Niemcy na parę miesięcy przed wybuchem wojny, bardzo szybko zarysował się dotkliwy brak wielu surowców, jak saletra, ropa naftowa, smary, tłuszcze, fosforyty, piryty, siarka, kwas siarkowy, kauczuk, bawełna, rudy metali, metale nieżelazne, platyna itd. Istotnie, na przełomie 1914 i 1915 r. wydawało się, że sytuacja materiałowa państw centralnych jest nieodwracalnie katastrofalna. Wówczas jednak doszła do głosu — tak pieczołowicie kształcona i wciąż rozbudowywana — kadra chemików niemieckich. Wbrew pozornie beznadziejnej sytuacji rozwiązali oni większość trudności materiałowych. Przykładowo można wskazać, że wojna przyspieszyła decydująco rozwój syntezy amoniaku oraz produkcji azotniaku. W rezultacie przemysł syntez azotowych stał się w ciągu kilku lat jedną z najpotężniejszych gałęzi produkcji niemieckiej. Firma Linde w ciągu dwóch lat zbudowała dla powstających i rozbudowujących się fabryk azotowych potężne instalacje o zdolności wytwórczej 15 tys. m^3 azotu na godzinę. Stopniowo w latach 1913—1918 dobowa wytwórczość amoniaku syntetycznego w Niemczech wzrosła z 30 do 1000 t, a więc przeszło 30-krotnie, same zaś tylko nowozbudowane zakłady chemiczne w Leuna dostarczyły w ostatnim roku wojny ponad 200 tys. ton amoniaku [15]. Tę wielką produkcję związano z metodą W. Ostwalda utlenienia amoniaku do kwasu azotowego. Przed wojną pracowała w Gerthe mała instalacja tego typu; przepracowaniem tej metody na skalę wielkoprzemysłową zajęła się znana firma Bamag przy współpracy naukowej A. Franka i N. Caro. W ten sposób pokryte zostało ogromne i wciąż wzrastające zapotrzebowanie przemysłu wojennego na kwas azotowy i azotany [16]. Również w wielu innych dziedzinach chemia niemiecka rozwinęła w czasie wojny gorączkową działalność. Udoskonalono więc pracę generatorów gazu wodnego, zrealizowano metodę konwersji tego gazu zgodnie z potrzebami syntezy amoniaku, podjęto budowę instalacji do rozkładu azotniaku w celu uzyskania amoniaku i produkowania azotanu amonowego itp. Niezależnie zaś od odkrycia nowych złoży pirytów rozwinięto wydzielanie siarki z siarkowodoru metodą Clausa. Podobnie, aby zaoszczędzić ilość zużywanego do produkcji superfosfatu kwasu siarkowego firma Rhenania zainicjowała, nie bez powodzenia, termiczną przeróbkę fosforytów do celów nawozowych. Wówczas też zaczęto wytwarzać: glicerynę fermentacyjną, utwar-

---

15 Sherwood Taylor F., *A History of Industrial Chemistry*, W. Heinemann, London 1957, str. 430; *Die deutsche chemische industrie*, E. S. Mittler u. Sohn. Berlin 1930, str. 153.

16 Praca zbiorowa, *Technologia związków azotowych*, t. II PWT, Warszawa 1956, str. 35.

dzane katalitycznie tłuszcze, a pewne ilości paliw ciekłych i smarów otrzymywano z produktów wytlewania węgla kamiennego i brunatnego. Podobnie uwieńczone były powodzeniem wysiłki mające na celu uzyskanie syntetycznego kauczuku, w czym pomocne były wcześniejsze prace dokonane w Rosji. Zastosowano wówczas głównie dwumetylobutadien jako surowiec do tej syntezy.

Starszy typ instalacji do katalitycznego utleniania NH_3

Opisane powyżej poczynania niemieckie miały w pewnym sensie charakter defensywny. Jednak chemia niemiecka zapisała również rozdziały ofensywne, które nie dadzą się wymazać z kart historii. Autorstwo niemieckie w wojnie chemicznej jest bezsporne. Międzynarodowa konwencja haska z 1899 r. zabraniała wyraźnie stosowania w operacjach wojennych pocisków do rozprzestrzeniania środków chemicznych, a zwłaszcza gazów trujących lub atakujących w inny sposób organizm ludzki. Tymczasem po wielkich i tajnych przygotowaniach dnia 22 kwietnia 1915 r. wojska niemieckie, zaskakując przeciwnika wypuściły potężną chmurę chloru na wojska francusko-senegalskie na odcinku Bixschoote — Langenmark w Belgii. Wielki uczony, twórca syntezy amoniaku F. Haber pisze po wojnie [17]: „na życzenie administracji wojskowej objąłem na początku 1915 r. techniczną odpowiedzialność w dziedzinie walki gazowej w zakre-

[17] Haber F., *Fünf Vorträge aus den Jahren 1920—1923*, Springer Verlag, Berlin 1924, str. 76.

sie ograniczonym, a od połowy 1916 r. w całej pełni". Ewolucja techniczna poszła też w kierunku stosowania coraz subtelniejszych metod i coraz skuteczniejszych produktów w walce chemicznej. Na podstawie takich półproduktów, jak chlor, brom, bromek benzylu, bromoaceton, fosgen, kwas chloropikrynowy, siarczek chloroetylenu (iperyt) oraz związki arsenowe, cyjanowe, karbazolowe itd., fabryki niemieckie wytwarzały w dużych ilościach „gazy" duszące, trujące, żrące, łzawiące i różne ich kombinacje. Środki chemiczne miały również udział i w innej postaci, np. w bitwie morskiej koło Jutlandii 31.V.1916 r. zastosowano na wielką skalę zasłony dymne.

Również w krajach koalicji antyniemieckiej wyłoniły się nieoczekiwanie ogromne trudności w zakresie produktów chemicznych. Wszystkie niedociągnięcia czy zaniedbania przeszłości, tak trudno dostrzegalne w warunkach pokojowych, wystąpiły w całej jaskrawości. Wielkie przemysły włókiennicze Anglii, Francji, USA, zatrudniające setki tysięcy pracowników, pozostały prawie bez barwników i półproduktów; ludność i wojsko aliantów nie miało w dostatecznej ilości podstawowych leków. Rolnictwo zostało odcięte od dostawy niemieckich soli potasowych. Otwarty, jakby wydawało się, dowóz saletry chilijskiej dla potrzeb przemysłu wojennego i rolnictwa został rychło sparaliżowany przez niemieckie łodzie podwodne. Zapotrzebowanie na związki aromatyczne przewyższyło wielokrotnie to, czym przemysł w krajach alianckich mógł dysponować na początku wojny; podobne trudności wyłoniły się w zakresie klisz fotograficznych i związków światłoczułych, acetonu odczynników analitycznych, szkła optycznego oraz laboratoryjnego itd. Ilustracją napiętej sytuacji rynkowej był też gwałtowny wzrost cen na produkty chemiczne, dostarczane przed wojną przez Niemcy. Tak więc ceny barwników syntetycznych wzrosły w Anglii i w USA w niektórych przypadkach nawet 40-krotnie (barwniki bezpośrednie dla bawełny) w stosunku do okresu przedwojennego. W USA brakowało chwilami barwników nawet do druku banknotów. Ceny leków importowanych z Niemiec wzrosły podobnie wysoko. Tak np. 1 funt nowokainy kosztował w USA w 1913 r. ok. 52 dol., a w 1917 r. 720 dol.[18] Ceny soli potasowych do roku 1916 wzrosły 10-krotnie itd.

Ponadto odczuto dotkliwie skutki słabego dotowania uczelni techniczno-chemicznych, anemicznego rozwoju przyfabrycznych pracowni naukowo-badawczych i niezbyt licznej kadry fachowców zaprawionych do samodzielnego rozwiązywania wielkich zagadnień technologicznych.

---

[18] Böhler E., Wehberg H., *Der Wirtschaftskrieg, Abt. V, Vereingte Staaten* von Amerika. G. Fischer Jena 1919, str. 534; Dyes W. A., *Internationales Handbuch der Weltwirtschaftschemie*, Berlin 1921, str. 71—78.

Trzeba jednak obiektywnie stwierdzić, że podjęto niezwłocznie wysiłki na największą skalę, aby sprostać zadaniu i opanować trudności [19].

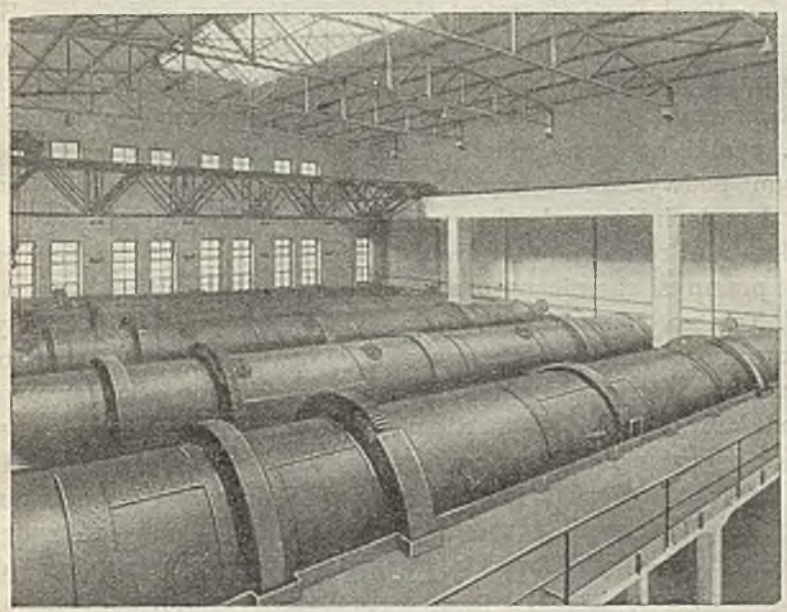
Przede wszystkim Francja, znajdująca się pod bezpośrednim zagrożeniem militarnym, dawała przykład prawdziwego bohaterstwa pracy. Od wybuchu wojny do 1917-18 r. produkcja prochu bezdymnego wzrosła tam z 24 do 500 t na dobę; roczne zużycie saletry chilijskiej przez sam tylko przemysł wojenny zwiększyło się z 40 tys. na 540 tys. ton. Produkcja stęż. kwasu azotowego sięgała 600 tys. ton rocznie, a produkcja oleum wynosząca na początku wojny ok. 6 tys. ton doszła do 300 tys. ton w 1917 r.; fenolu produkowano początkowo 1 t, zaś pod koniec wojny 450 t na dobę, trójnitrotoluenu 150 kg i 60 t na dobę; chloru ciekłego przed wojną nie wytwarzano, a w 1918 r. siedem francuskich wytwórni mogło dostarczyć 50 t na dobę. Wszystko to wiązało się mniej lub bardziej bezpośrednio z wojną. Ale i w zakresie produkcji „cywilnej" można zanotować niemałe osiągnięcia. Koncern Kuhlmana rozwinął fabrykację produktów nieorganicznych; Société des Produits Azotés zbudowało nową fabrykę azotniaku, zwiększając stopniowo tę produkcję dwunastokrotnie. W maju 1916 r. założono pod patronatem rządu Syndicat National des Matières Colorantes, któremu przekazano w zarząd wszystkie zasekwestrowane niemieckie fabryki barwników we Francji. Nieco później syndykat ten został przekształcony w Compagnie Nationale des Matières Colorantes et des Produits Chimiques z kapitałem zakładowym 40 mln fr. Równocześnie powstało lub zreorganizowało się kilka innych przedsiębiorstw produkujących barwniki syntetyczne i półprodukty organiczne.

W Anglii przeprowadzono w parlamencie i w komisjach fachowych obszerne dyskusje, nie pozbawione silnych akcentów krytycznych co do traktowania nauk przyrodniczych i technicznych na wyższych uczelniach i w fabrykach oraz ustosunkowania się do początkujących chemików i technologów [20]. Zdecydowano się też szybko na wydatne poparcie badań naukowo-technicznych z budżetu publicznego, a także skłoniono większe koncerny do rozbudowy własnych pracowni analitycznych i badawczych na wzór niemiecki. Od jesieni 1914 r. poczęto zakładać dobrze wyposażone średnie szkoły specjalistyczne, jak np. Manchester School of Technology, Huddersfield Technical College (dla chemii barwników), inne zajmujące się specjalnie szkłem optycznym i laboratoryjnym itd. W momencie wybuchu wojny przemysł chemiczny Wielkiej Brytanii, szczególnie ciężki przemysł nieorganiczny, był w pełnym rozkwicie i zajmował czołową pozycję w świecie. Odnosi się to w pierwszym rzędzie do

[19] Moureu K., *Chemia i Wojna*, Wojskowy Instytut Naukowo-Wydawniczy, Warszawa 1923, str. 193.

[20] Grossmann H., *Englands Kampf um den naturwissenschaftlichen Unterricht*, F. Enke, Stuttgart 1917; Haber L. F., op. cit. str. 190.

produkcji kwasu siarkowego (którego wytwórczość w Wielkiej Brytanii już w 1900 r. przekroczyła milion ton), sody amoniakalnej i kaustycznej, rozwijanej intensywnie przez koncern Brunner Mond and Co., a także do produkcji superfosfatu, siarczanu amonowego, fosforu, chloranów, cyjanków, sodu metalicznego, substancji bielących, boraksu itd. Również w zakresie surowców organicznych, jak benzen, toluen, fenol, naftalen, antracen, anilina i in. pozycja Anglii była zupełnie mocna. Natomiast ok. 90%



Nowoczesna prażalnia pirytów

zapotrzebowania na półprodukty i barwniki syntetyczne pokrywał przemysł niemiecki i szwajcarski. Natychmiast po wybuchu wojny sytuacja w tym zakresie stała się bardzo trudna. Toteż przy dużym nakładzie środków materialnych regenerowano gwałtownie, np. w Indiach, produkcję barwników naturalnych (indyga). Było to oczywiście tylko paliatywem. Jednakże już w marcu 1915 r. przy wydatnej pomocy finansowej państwa została założona firma The British Dyes Ltd., która wykupiła największą fabrykę barwników, tj. Read Holliday and Sons w Huddersfield, w celu dalszej, szybkiej i planowej rozbudowy. Wielką pomocą było to, że firmie zezwolono na posługiwanie się aktualnymi patentami niemieckimi z zakresu barwników. Już w połowie 1916 r. produkcja dawnej fabryki została ilościowo podwojona i udoskonalona jakościowo. Wprawdzie asortyment wytwarzanych barwników był początkowo ograniczony, ale firma ta zdołała zapewnić sobie pomoc technologiczną jednej z naj-

znakomitszych firm szwajcarskich Ciba. Drugie przedwojenne przedsiębiorstwo w tej branży Levinstein and Co. w Manchesterze nabyło po wybuchu wojny zbudowaną w 1908 r. filię niemieckiej fabryki w Höchst i podjęło obok wielu innych barwników produkcję syntetycznego indyga w dużych ilościach. Wreszcie założono nowe lub przeorganizowano i rozbudowano starsze przedsiębiorstwa mające za zadanie produkcję półproduktów organicznych, barwników i leków. Były to takie firmy, jak Manchester Coal Tar Products Co., Clayton Aniline Co. Ltd., Barton Chemical Works, Trafford Park Chemical Co., A. E. Hawley and Co. w Hinkley, Richardson and Sons i in. Stosunkowo szybko rozwinięto też na dużą skalę produkcję takich leków, jak aspiryna, antypiryna, alkaloidy oraz wielu odczynników chemicznych. Podobnie w oparciu o istniejący od 1877 r. wielki koncern Nobel's Explosives Comp. Ltd. w Glasgow po znacznym podwyższeniu kapitału zakładowego rozbudowano wówczas przemysł materiałów wybuchowych, który zaopatrywał nie tylko wojska angielskie ale również aliantów[21]. Niemniejszą aktywność przejawił również przemysł chemiczny pracujący głównie na potrzeby rynku cywilnego [22]. Tak np. zakłady British Carbide Factories Ltd. rozwinęły przemysł karbidowy, British Cellulose Chemical Manufacturing Co. Ltd., rozpoczęła produkcję octanu celulozy, a równocześnie liczne firmy angielskie podejmowały produkcję chemiczną w dominiach oraz ówczesnych koloniach brytyjskich. W Indiach i w Kanadzie zapoczątkowano więc produkcję soli potasowych i jodu. W Afryce Południowej zbudowano wytwórnię amoniaku syntetycznego, a w Kanadzie — nową fabrykę barwników (Sherwin — Williams Co., Montreal) oraz dużą instalację do produkcji chloru, sody żrącej i potażu (Brunner, Mond Co., Canada, Ltd.); w innych posiadłościach uruchomiono fabryki kwasu azotowego, dwuchromianu, soli potasowych, pirogalolu i wielu innych preparatów. Wyrazem wzrastającego znaczenia przemysłu chemicznego jest m. in. utworzenie w 1916 r. stowarzyszenia British Chemical Manufacturers Association.

Wyraźny wpływ na ewolucję i dynamikę rozwojową przemysłu chemicznego wywarła tocząca się w latach 1914—1918 wojna jeszcze w dwóch krajach europejskich, tj. w Rosji i w Italii oraz w dwóch krajach pozaeuropejskich, w Stanach Zjednoczonych i w Japonii.

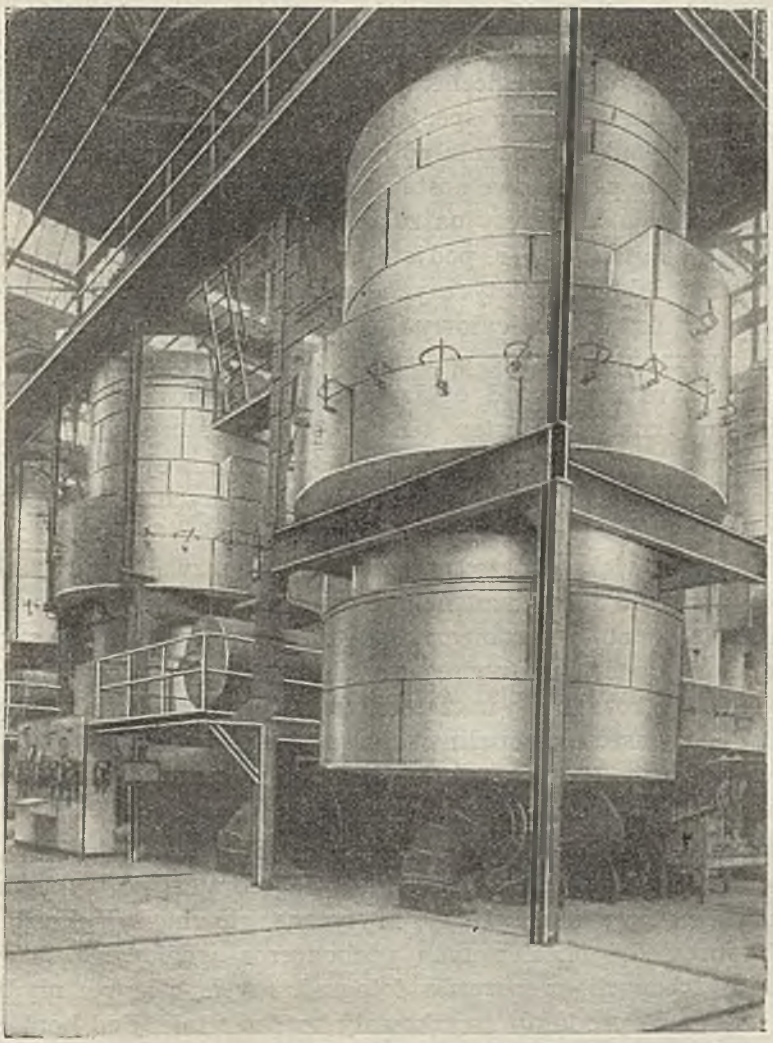
W 1912 r. istniało już w Rosji łącznie z byłym Królestwem Kongresowym ok. 550 przedsiębiorstw chemicznych, zatrudniających 78 tys. robotników. Rozwinięta była produkcja kwasu siarkowego metodą ko-

---

[21] *The History of Nobel's Explosives*, Vol. I. Chapter VIII, The Great War. Imperial Chemical Industries Co. Ltd. London 1938, str. 132—163.

[22] Dyes W. A., *op. cit.* str. 80—82, 575, 597.

morową oraz oleum metodą kontaktową (np. w fabryce Tentelewskiej), co było wówczas dużą jeszcze rzadkością w Europie, następnie produkcja kwasu solnego i azotowego, sody, wodorotlenku sodowego, chloru i wapna bielącego, nawozów sztucznych, mydła, cukru, alkoholu, zapałek oraz



Wytwórnia kwasu siarkowego metodą kontaktową

pochodnych chemicznej przeróbki ropy naftowej, węgla i drewna. Największą i nowocześnie urządzoną wytwórnią alkaliów była fabryka Lubimow, Solvay i Co., która w 1904 r. wytwarzała ok. 40 tys. ton sody bezwodnej i 16 tys. ton sody kaustycznej. Słabiej natomiast był reprezentowany przemysł organiczny, a ten, który istniał, uzależniony był

w najwyższym stopniu od dowozu półproduktów niemieckich. Tocząca się wojna zdezorganizowała ponadto część produkcji chemicznej. Dość ważne wytwórnie na ziemiach polskich zostały przez armie niemieckie doszczętnie zniszczone, a inne z innych okręgów trzeba było pospiesznie ewakuować. Tak np. z okręgu Ryskiego wywieziono w 1915 r. na wschód 17 fabryk chemicznych. Dość powszechnie odczuwano brak leków, barwników, a nawet odczynników laboratoryjnych. Wszechrosyjski Związek Ziemstw podjął więc energiczne wysiłki w celu opanowania tych trudności. Powołał on do życia specjalny wydział, który miał czuwać nad planowanym z punktu widzenia potrzeb wojny rozwojem przemysłu chemicznego. Władze państwowe postawiły do dyspozycji dość znaczne środki materialne i akcja inwestycyjna ruszyła naprzód. Z inicjatywy kół naukowych na początku 1916 r. podjęto budowę fabryki preparatów farmaceutycznych i leków syntetycznych, a już pod koniec tego roku takie jej wytwory, jak kwas salicylowy i jego liczne pochodne, salol oraz różne półprodukty znajdowały się w handlu. Jeszcze jedna wytwórnia leków powstała w tym czasie pod egidą politechniki moskiewskiej. Wszędzie konstatowano znaczny postęp technologiczny, szczególnie w zakresie koksownictwa, przerobu pochodnych ropy naftowej, destylacji smoły węglowej oraz produkcji barwników syntetycznych. Obok petrogradzkiej wytwórni barwników, założonej przez Polaka S. Krosnowskiego, powstało nowe, większe przedsiębiorstwo pod nazwą Ruskokraska, dysponujące dawnymi fabrykami niemieckimi, istniejącymi w Rosji[23]. Jest zrozumiałe, że w obliczu konieczności wojennych nastąpił też szybki rozwój produkcji materiałów wybuchowych wszelkiego typu; niezależnie od tego podjęto lub rozwinięto w czasach wojny produkcję wielu innych chemikaliów, a zwłaszcza formaliny, chloroformu, urotropiny, eteru, metanolu, kwasu octowego, naftalenu, garbników, jodu, tiosiarczanu sodu, ultramaryny itd.

Włochy, aż do 1914 r. w zakresie chemii były prawie całkowicie uzależnione od dostaw zagranicznych; toteż natychmiast po wybuchu wojny wytworzyła się na rynku sytuacja krytyczna, głównie w zakresie podstawowych surowców organicznych pochodzenia węglowego, barwników, leków syntetycznych, preparatów fotograficznych, a nawet mydła. Ceny na te i pokrewne produkty zwyżkowały bardzo silnie. Pod koniec 1915 r. dekret rządowy zobowiązał wszystkie większe gazownie do wydzielania z gazu benzolu. W maju 1916 r. powołana została do życia w Mediolanie organizacja pod nazwą Associazione Industriale Prodotti Chimici e Chimico-Farmaceutici, której zadaniem było popieranie rozwoju krajowego przemysłu chemicznego oraz reprezentowanie jego interesów. Jest zro-

[23] Smoleński K., *Roczniki Chem.* 1, 40 (1921).

zumiałe, że w pierwszym okresie główny nacisk położony został na sprawy związane z organizacją i produkcją przemysłu wojennego. Tak więc fabryka materiałów wybuchowych w Cengio rozwinęła już w 1916 r. produkcję wielu surowców i półproduktów organicznych, w tym ponad 10 t fenolu na dobę. W okolicach Mediolanu powstały w tym czasie nowe, duże fabryki materiałów wybuchowych, a także aniliny; w Legnano uruchomiono fabrykę kwasu azotowego i azotanu amonu; w Segni koło Rzymu zbudowano fabrykę gliceryny, nitrogliceryny i pochodnych materiałów wybuchowych. W Mediolanie założono trzy nowe spółki dla produkcji nawozów azotowych. Podobnie i w okolicach Turynu przejawił się wówczas dość żywy ruch inwestycyjny w zakresie chemii. Między innymi podjęto na większą skalę produkcję takich preparatów farmaceutycznych, jak aspiryna, fenacytyna, antypiryna, kwas salicylowy, morfina, kodeina, chinina, salvarsan, formaldehyd oraz sole nieorganiczne. Oprócz zaś trzech, czynnych przed wojną fabryk sody i wapna bielącego dwie nowe fabryki sody zbudowała tu belgijska firma Solvay. Wreszcie przy poparciu banków włoskich i przy współpracy angielskiej firmy Levinstein Ltd. założono spółkę akcyjną Industria Colori di Anilina, która uruchomiła kilka wytwórni półproduktów i większą fabrykę barwników. Trzeba jednak stwierdzić, że w kilku innych działach produkcji chemicznej zarysowała się w okresie wojny silna recesja. Do takich dziedzin należy np. produkcja siarki, superfosfatów itp.

Ogromny postęp w dziedzinie przemysłu chemicznego notuje w tym czasie historia Japonii, która wyzyskała wszechstronnie sytuację gospodarczą na obszarach Dalekiego Wschodu, spowodowaną przez wojnę toczącą się głównie w Europie. Aż do jej wybuchu Japonia zaawansowana silnie w rozbudowie wielu działów przemysłu przetwórczo-mechanicznego — podobnie jak wiele innych państw — była w najwyższym stopniu uzależniona w zakresie przemysłu organicznego od dostaw niemieckich. Teraz rozpoczął się wielki proces emancypacyjny. W czerwcu 1915 r. ukazało się rozporządzenie gwarantujące subwencje państwowe i minimalną dywidendę w wysokości 8% na 10 lat takim przedsiębiorstwom japońskim, które, posiadając kapitał zakładowy nie mniejszy niż 6 mln jenów, podejmą fabrykację półproduktów organicznych lub surowców o znaczeniu strategicznym, jak fenol, gliceryna, barwniki syntetyczne, preparaty farmaceutyczne itp.[24]. Na tej podstawie powstało wkrótce przedsiębiorstwo z kapitałem zakładowym 8 mln jenów pod nazwą Nippon Seizo Kabushiki Kaisha, które zbudowało w pobliżu Osaka wytwórnię półproduktów i barwników, instalując maszyny i urządzenia sprowadzone z USA. Po przełamaniu początkowych trudności technologicznych firma

[24] Ulrich L., *Der Wirtschaftskrieg*, Abt. III. Japan, G. Fischer, Jena 1917, str. 84.

ta już na początku 1917 r. wytwarzała anilinę i inne półprodukty oraz niektóre barwniki. Następnie również inne fabryki podjęły syntezę barwników (np. Miike Coal Tar Works, Nogoya Gas Co. i in.) Japońska akcja rozwoju własnego przemysłu chemicznego była prowadzona bardzo gruntownie i konsekwentnie. Przede wszystkim skierowano baczną uwagę na rozwój badań naukowych. W marcu 1917 r. założono w Tokio Instytut Badań Fizycznych i Chemicznych i bardzo bogato wyposażono go [25]. Stopniowo w centrali Instytutu utworzono 18 oddziałów badawczych oraz 6 filii w terenie. Do 1925 r. Instytut ten ogłosił 170 prac naukowych drukiem, uzyskał 103 patenty japońskie i 21 patentów zagranicznych.

Od 1916 r. prawie wszystkie działy produkcji chemicznej wykazywały w Japonii zdecydowany rozwój. Na plan pierwszy wysunęła się w okresie wojny produkcja materiałów wybuchowych i uzbrojenia; po zaspokojeniu własnych potrzeb, Japonia rozwinęła na dużą skalę eksport broni i amunicji, a oficjalne informacje oceniały wartość tego wywozu do końca 1915 r. na 80 mln jenów. Równocześnie jednak duże osiągnięcia notował przemysł pracujący na potrzeby cywilne. Nowe, wielkie przedsiębiorstwa (Toya Drug Co., Nippon Chemical Ind. Co., Nippon Acetic Acid. Co., Electro Chemical Ind. Co. etc) podjęły w tym czasie produkcję wielu leków i preparatów farmaceutycznych. Ponadto w połowie wojny wytwarzano już kwas octowy i bezwodnik octowy, amoniak i sole amonowe, brom, jod, dwusiarczek węgla, sodę kaustyczną, eter, formalinę, glicerynę, mentol krystaliczny, sód metaliczny, kwas fosforowy, saletrę itd.

Trzy czynniki zadecydowały o rozwoju przemysłu chemicznego w USA na przełomie XIX i XX w. Kraj ten dysponował licznymi i cennymi surowcami energetycznymi i chemicznymi, tanią energią elektryczną oraz nowoczesnym wyposażeniem technicznym. Górnictwo, komunikacja, przemysł, transport — wszystko to miało w USA proporcjonalnie krótką historię rozwojową, mogło więc korzystać z najnowszych zdobyczy techniki. Fabryk sody posługujących się metodą Leblanca prawie nie było; realizowane były od razu sprawniejsze i tańsze metody: amoniakalna i elektrolityczna. Taki bieg ewolucji można stwierdzić w wielu dziedzinach. Również proces koncentracji przedsiębiorstw i racjonalizacji gospodarczej czynił tu widoczne postępy. W okresie 1890—1905 r. ilość przedsiębiorstw chemicznych spadła o 20%, liczba zatrudnionych i wartość produkcji wzrosła o 50—60%, a suma zainwestowanych kapitałów zwiększyła się o 110% [26]. W naszkicowanym właśnie ogólnym obrazie można znaleźć oczywiście widoczne odchylenia. W tym czasie produkcja ropy naftowej i jej pochodnych wzrosła trzykrotnie, produkcja koksu prawie

[25] Ulrich L., *op. cit.* str. 86; Zawidzki J., *Przemysł Chem.* 9. (1927).
[26] Haber L. F., *op. cit.* str. 143.

czterokrotnie, a sody kaustycznej metodą elektrolityczną zwiększyła się przeszło 10-krotnie itd. Powstawały również duże koncerny lub wielkie jednostki fabryczne, specjalizujące się w określonych działach wytwórczości. W 1891 r. przez zjednoczenie 12 fabryk produkujących chemikalia ciężkie powstała General Chemical Co.; największą fabrykę kwasu siarkowego zbudowała firma Tennessee Copper and Chemical Corp. of N. York: w 1906 r. podjęto produkcję kwasu siarkowego metodą kontaktową; inne przedsiębiorstwa jak American Agricultural Chemical Co., Virginia — Carolina Chemical Co., Agricultural Investment Co., International Agricultural Co. i szereg innych, prowadziły kilkadziesiąt fabryk nawozowych, głównie superfosfatu; nieco później firma Anaconda Copper Mining Co. podjęła produkcję superfosfatów tzw. podwójnych lub potrójnych, zawierających do 48% rozpuszczalnego P_2O_5. W1899 r. różne przedsiębiorstwa chemiczne rodziny Du Pontów utworzyły nową, skoncentrowaną potęgę gospodarczą pod nazwą E. J. Du Pont de Nemours and Co., która wówczas specjalizowała się głównie w produkcji materiałów wybuchowych i ciężkich chemikaliów nieorganicznych.

Jednakże w niektórych innych działach rynek amerykański był uzależniony od dostaw europejskich, w szczególności niemieckich, a wybuch wojny w 1914 r. zależność tę przemienił w sytuację prawdziwie krytyczną. Jak już wspomniano, w pierwszym rzędzie odnosi się to do zaopatrzenia w barwniki syntetyczne. Wprawdzie bowiem istniało w USA kilka fabryk tej branży (Read Holliday and Sons, Ltd. w Bostonie i Filadelfii; Central Dyestuff Co., Newark; W. Beckers, Brooklyn itd.), ale ostatecznie nacisk konkurencyjny wytrzymała tylko jedna znaczniejsza wytwórnia firmy Schoellkopf Aniline and Chemical Works, Buffalo, specjalizująca się w barwnikach azowych. Przedsiębiorstwo to pokrywało przed wojną ok. 10% zapotrzebowania rynku wewnętrznego w zakresie prostszych barwników. Po zablokowaniu Niemiec, które w 1913 r. importowały do USA ok. 14 tys. ton barwników, ceny zwyżkowały zawrotnie, zaś w wielu dziedzinach braki te dotkliwie odczuwano [27]. Również w zakresie półproduktów oraz kilku innych artykułów chemicznych sytuacja była od początku wojny napięta. Już w 1914 r. biuro handlu zagranicznego i wewnętrznego (Bureau of Foreign and Domestic Commerce) rozwinęło energiczną akcję, w celu zaspokojenia potrzeb rynku amerykańskiego. Wielkie usługi instruktywne i propagandowe oddał w tej sprawie dr Norton, były kierownik fabryki chemicznej w Paryżu, a następnie konsul generalny USA w Niemczech, studiujący od wielu lat metody pracy i organizacji niemieckiego przemysłu barwników syntetycznych. Postulaty

[27] Böhler E., Wehberg H., *Der Wirtschaftskrieg*, Abt. V. Vereinigte Staaten v. Amerika, S. Fischer, Jena 1919, str. 54.

chemii stały się w tym czasie zrozumiałe i popularne, a ich aktualność podtrzymywało Amerykańskie Towarzystwo Chemiczne. Praktyczne rezultaty tych zabiegów były dość pomyślne. Przy współudziale fachowców-chemików podjęto studia nad taryfą celną; dotacje na cele naukowe i badawcze zwiększyły się; niektóre przedsiębiorstwa jak Du Pont poczęły oddawać coraz poważniejsze sumy na programowe badania w ramach własnych pracowni naukowych. W 1915 r. wytwarzano już w USA w poważnych ilościach takie surowce, jak benzen, toluen, naftalen, fenole itd. Na większą skalę zastosowano też metodę aromatyzacji pochodnych naftowych. W połowie 1916 r. pracowało 37 fabryk półproduktów organicznych, a pod koniec tego roku wytwarzano 48 różnych półproduktów i kilkadziesiąt nowych barwników [28]. Od początku 1917 r. fabryka należąca do Dow Chemical Co., Midland, Michigan, jako pierwsza w USA zaczęła produkować syntetyczne indygo. W roku następnym trzy fabryki wyprodukowały już 1540 t indyga przy silnie wzrastającej tendencji rozwojowej. Obok wielu nowopowstających fabryk barwników również koncern Du Pontów zdecydował w 1916 r. budowę dużej i kompleksowej fabryki syntez organicznych kosztem 60 mln dol. W 1917 r. utworzony został wielki koncern pod nazwą Allied Chemical and Dye Corporation, który wchłonął dawne i nowe fabryki barwników; niebawem dołączyły się liczne fabryki z branży pochodnych smołowych, a również z działu produktów nieorganicznych. Na tej podstawie sprecyzowano dokładniej programy produkcyjne tych fabryk umożliwiając specjalizację w zakresie różnych grup barwników syntetycznych [29].

W czasie pierwszej wojny również szereg innych problemów chemicznych rozwiązano w USA zadowalająco. Największe trudności powodował brak soli potasowych, ważnego nawozu przy uprawie bawełny. Wszelkie dostępne źródła wykorzystano teraz praktycznie. Związki potasowe uzyskiwano więc jako produkt uboczny przy wyrobie cementu; pewne ilości wydobywano przy przerobie ałunów. Były to jednak ilości znikome w stosunku do potrzeb. Poważniejszym źródłem potasu i jodu były popioły wodorostów, wydobywanych na wybrzeżu oceanu Spokojnego. Firma Herkules Powder Co. uruchomiła taką wytwórnię na dużą skalę w San Diego. Bilansując najważniejsze osiągnięcia trzeba podkreślić, że w latach 1909—1919 sumaryczna wartość produkcji chemicznej w USA wzrosła z 1,5 do 5,6 mld dolarów. Przywóz barwników z Niemiec, który w okresie przedwojennym dochodził do kilkunastu tysięcy ton rocznie, w cztery lata po zakończeniu wojny zmniejszył się do znikomej ilości ok. 200 t; temu należy przeciwstawić fakt, że już w 1919—20 r. wywóz

[28] Koch W., *Handelskrieg u. Wirtschaftsexpansion*, G. Fischer, Jena 1917, str. 237.
[29] Böhler E., Wehberg H., *op. cit.*, str. 58—60.

barwników syntetycznych ze Stanów Zjednoczonych osiąga wartość ok. 11 mln dol. Przed wojną USA przywoziły dość znaczne ilości jedwabiu sztucznego, a produkcja własna w 1913 r. nie przekroczyła 700 t; wytwórczość tę rozwinęły szybko w latach wojennych i powojennych takie firmy, jak Viscose Co., Du Pont Fiber-silk Co., Tubize Artificial Silk Co., doprowadzając ją do 23 tys. ton w 1925 r. Takich osiągnięć możnaby przytaczać bardzo wiele, świadczących o emancypacji rynku amerykańskiego również w dziedzinie chemicznej.

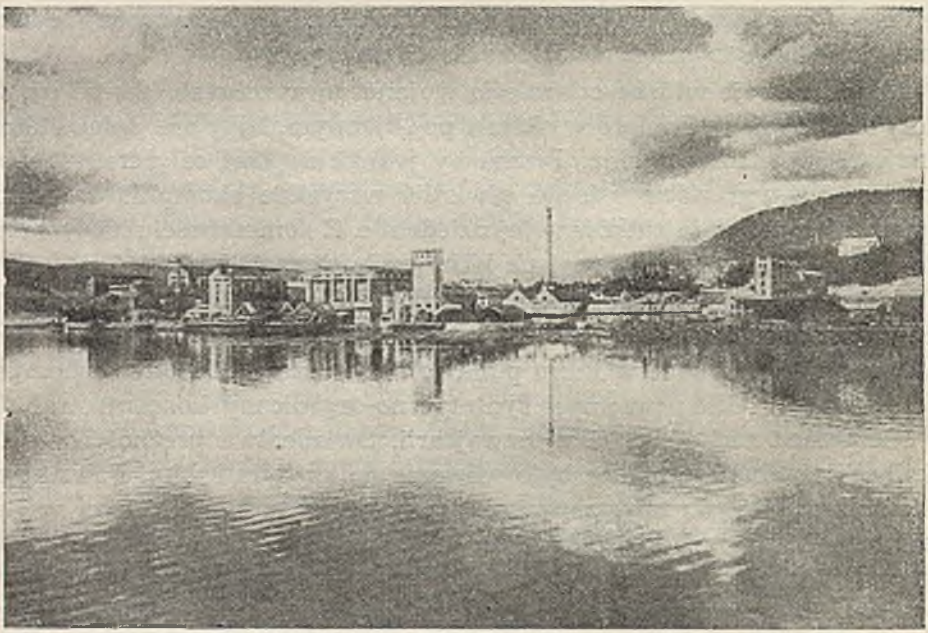
Konsekwencje wtórne czterolecia wojennego w zakresie chemii ujawniały się stopniowo dopiero w okresie powojennym. Były one daleko idące i najczęściej nieodwracalne. Trzeba by jednak napisać cały traktat, aby dostatecznie wyraziście i ściśle oświetlić wszystkie skomplikowane powiązania przyczyn i skutków w tej dziedzinie. Z konieczności należy ograniczyć się do zwrócenia uwagi na kilka ważniejszych faktów.

Przede wszystkim więc nastąpiła wyraźna geograficzna dekoncentracja przemysłu chemicznego w świecie. Aż do 1914 r. przemysł nieorganiczny był rozwinięty głównie w kilku punktach na obszarze Europy zachodniej i częściowo w USA; przemysł syntetyczno-organiczny koncentrował się w Niemczech zachodnich i w Szwajcarii. Świadectwa prężności chemii niemieckiej odnaleźć można było wówczas na każdym kroku. Powstające z najskromniejszych zawiązków takie koncerny, jak BASF, Bayer w Leverkusen, MLB w Höchst, Agfa w Berlinie, W. Kalle w Biebrich i in., były przed wybuchem wojny nie tylko prawdziwymi potęgami technicznymi i ekonomicznymi, ale w zakresie wielu produktów bezspornymi monopolistami na kuli ziemskiej. BASF zatrudniała 322 chemików, 266 inżynierów i techników innych specjalności, 1300 urzędników administracyjnych i handlowych oraz 11 tysięcy pracowników fizycznych; F. Bayer zatrudniał więcej niż 10 tysięcy pracowników, a w fabrykach w Höchst pracowało 400 chemików, 600 urzędników kupieckich i kilkuset innych pracowników umysłowych oraz ponad 8 tys. robotników. Koncerny te, zaopatrujące wówczas cały świat w barwniki, leki, preparaty farmaceutyczne, fotograficzne itd., wypłacały w pierwszym dziesięcioleciu bieżącego wieku roczną dywidendę na akcję 100-markową od 22 mk (Agfa) do 30 mk (BASF) i 36 mk (Bayer) [30].

Pod naporem zjawisk i konieczności wywołanych w czasie wielkiej wojny obraz ten uległ w następnym dziesięcioleciu radykalnej zmianie. Cały przemysł chemiczny — nieorganiczny — rozwinął się potężnie w USA, w Wielkiej Brytanii, we Francji, Japonii i rozpoczął swój zadziwiający i niepowstrzymany już start rozwojowy w Związku Radzieckim, Australii, Kanadzie, we Włoszech, w Holandii, Norwegii, Szwecji i w wie-

[30] Haber L. F., *op. cit.*, str. 178.

lu innych krajach. Przesunięciom ilościowym towarzyszyły niemniej zasadnicze zmiany jakościowe i terenowe. Tak więc w latach 1913—1925 sumaryczna światowa produkcja związków azotowych wzrosła o 60%; jednak w 1913 r. w pokryciu zapotrzebowania saletra chilijska uczestniczyła w 56%, siarczan amonu wytwarzany jako produkt uboczny koksow-

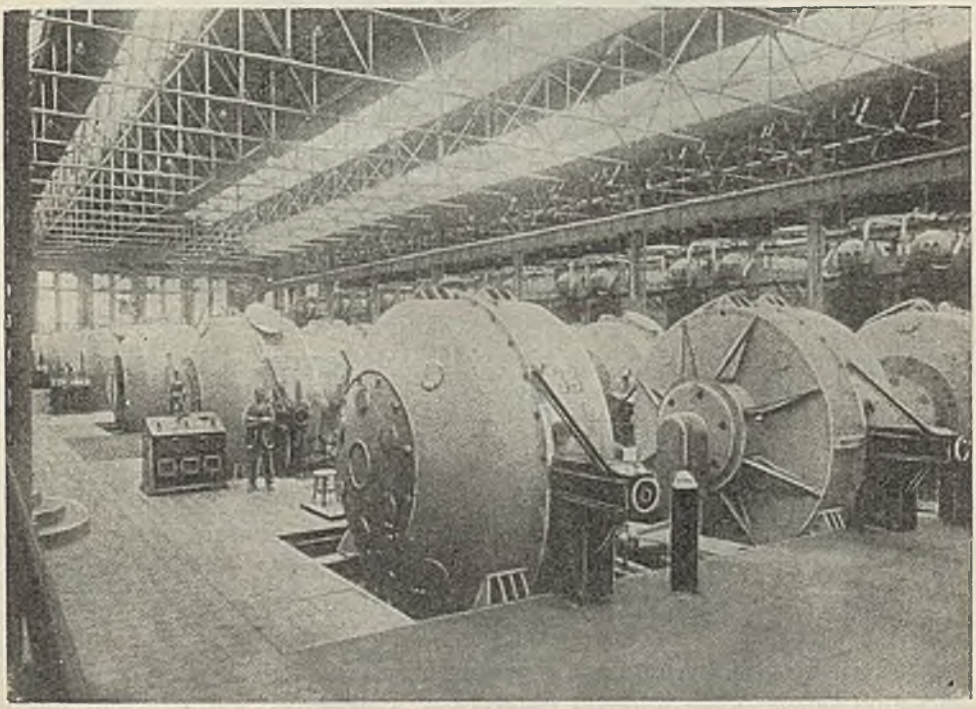


Pierwsza fabryka saletry wapniowej w Notodden (Norwegia)

nictwa w 37%, a syntetyczne związki azotowe zaledwie w 7%. Po wojnie role się odwróciły. Udział saletry chilijskiej spadł do 29% i zmniejszał się szybko w dalszym ciągu, siarczan amonowy z koksowni został ograniczony do 21%, a udział azotu syntetycznego wzrósł do 50% [31] i wzrastał systematycznie nadal. W światowej produkcji tomasyny udział Niemiec wynosił w 1913 r. ok. 50%; po wojnie spadł do 32%. Australia przed wojną nie posiadała np. przemysłu superfosfatowego, ale w 1925 r. była już całkowicie samowystarczalna, a jej udział w ogromnej produkcji światowej wynosił 6,5%. W zakresie produkcji jedwabiu sztucznego decydującymi wytwórcami w świecie były przed wojną fabryki niemieckie i brytyjskie; po wojnie przodują w tej dziedzinie USA, Włochy, Holandia, Kanada i Japonia. Niemniej głębokie zmiany nastąpiły w zakresie produkcji i handlu barwnikami sztucznymi. Ilościowo handel światowy w porównaniu z okresem przedwojennym zmniejszył się o połowę. Mo-

[31] Dresdner Bank, *Die wirtschaftlichen Kräfte der Welt*, Berlin 1924, str. 80.

nopol niemiecki został definitywnie obalony, a produkcję barwników o szerokim asortymencie jakościowym rozwinięto w USA, w Wielkiej Brytanii, Francji, Japonii i we Włoszech. Rozbudzone zaś tendencje emancypacyjne zataczały odtąd coraz szersze kręgi w całym świecie, pogłębiając i w tej dziedzinie zmiany strukturalno-gospodarcze. Natomiast wartościowo handel barwnikami utrzymał się po wojnie na dawnym poziomie, gdyż producenci niemieccy, angielscy i szwajcarscy, wyciągając szybko prawidłowe wnioski z wytworzonej sytuacji rynkowej, przeszli na wywóz wysokogatunkowych i drogich barwników. Nie zahamowało to jednak zjawiska ogólnego: procentowy udział Europy w użyciu barwników stopniowo malał, w Ameryce północnej utrzymywał się na dość ustabilizowanym poziomie, a w innych częściach świata — szczególnie w Azji — wyraźnie wzrastał. Podobnie malało znaczenie Europy jako producenta kwasu siarkowego, siarki, sody kaustycznej, chloru, surowców organicz-



Piece elektryczne Birkelanda i Eydego w Rjukan (Norwegia)

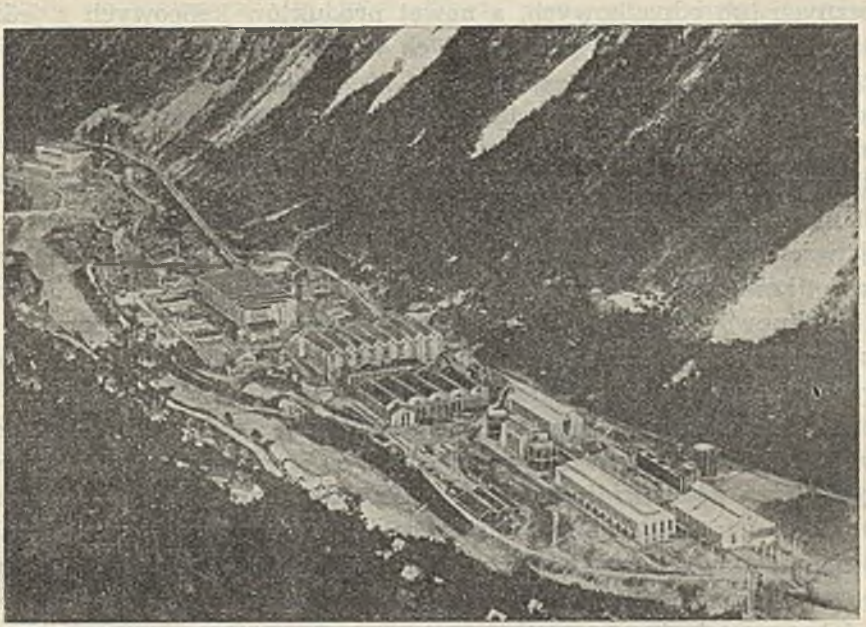
nych, nawozów fosforowych, metali, papieru, mydła i wielu innych produktów chemicznych. W czasie wojny produkcja cukru buraczanego spadła z 8 na 4 mln ton, w relacji rocznej, a równocześnie wytwórczość cukru trzcinowego wzrosła z 10,6 na 12,0 mln ton. Już wówczas w pro-

dukcji chemicznej pojawili się zupełnie nowi partnerzy: Indie, Australia, Kanada, Nowa Zelandia, Unia Południowo-Afrykańska [32]. W Europie rozrastała się produkcja chemiczna w Szwajcarii, Holandii, w państwach skandynawskich itp. Tak np. w Norwegii firma Norsk Hydroelektrisk Kvaelstoff S.A. uruchomiła na podstawie patentów Birkelanda i Eydego fabrykę związków azotowych w Notodden; w 1912—13 r. ta sama firma zbudowała największą na świecie fabrykę azotową, pracującą metodą łukową w Rjukan. Tuż przed wojną elektrownie wodne tej firmy miały zainstalowaną moc 175 tys. KM, a w czasie wojny siłownie te — mające bardzo niski koszt własny — zostały poważnie rozbudowane. Kapitał zakładowy firmy powiększono po wojnie do 190 mln koron norweskich (a wytwarzana przez tę firmę saletra wapniowa (norweska) znajdowała szeroki zbyt w kilkudziesięciu krajach świata.

Podobnych przykładów rozwoju przemysłu chemicznego w okresie wojennym i powojennym nawet w najodleglejszych zakątkach świata można by wyliczać bardzo wiele. Okazuje się, że siły rozwojowe chemii były liczne i bardzo zróżnicowane: w jednych krajach decydowały o tym coraz silniej występujące potrzeby rynkowe, w innych promotorem rozwoju stała się obfitość surowców, w jeszcze innych zaważyły bogate źródła taniej energii elektrycznej; przemożny wpływ wywierały również postulaty obrony narodowej lub względy finansowe i perspektywy wzrostu dochodu społecznego albo siły dynamiczne wysokokwalifikowanych kadr fachowych. I odtąd każde odkrycie, każde przełomowe osiągnięcie, każda nowość stawała się rychło jakby własnością powszechną i zaczynem dalszego rozwoju oraz postępu w skali międzynarodowej. Największe osiągnięcie chemiczne tego okresu tj. udostępnienie dla celów przemysłowych azotu atmosferycznego może być jedną z klasycznych ilustracji tej tezy. Twórcza myśl Habera i Boscha, zrealizowana w Niemczech w 1913 r., wywołuje lawinę dalszych badań, nowych rozwiązań technologicznych i samodzielnych modyfikacji podstawowego procesu syntezy amoniaku z pierwiastków. Do roku 1930 ogłoszono, opatentowano i zrealizowano w przemyśle pokrewne metody: Claude'a (wysokociśnieniowa), Casalégo (cyrkulacyjna), Mont-Cenis-Uhdego (niskociśnieniowa), a także włoska Fausera, amerykańska NEC (Nitrogen Engineering Company) i przeróżne kombinacje wymienionych metod. W całym świecie zgłoszono liczne nowe wnioski patentowe, a przemysł syntezy amoniaku stał się w krótkim czasie jednym z najpotężniejszych przemysłów na kuli ziemskiej. W Niemczech na tej podstawie dostarczono rolnictwu i przemysłowi w 1930 r. ok. 800 tys. ton związków azotowych w przeliczeniu na czysty azot. W Wielkiej Brytanii pod egidą Imperial Chemical Indus-

[32] Schuster E., Wehberg H., *Der Wirtschaftskrieg*, Abt. I. England, G. Fischer, Jena 1917, str. 136—138.

tries Ltd. (ICI) powstaje w Billingham-on-Tees wielka wytwórnia syntezy amoniaku; później przybywa kilka innych fabryk tego typu; w USA obok czterech znaczniejszych wytwórni amoniaku Hopewell, Syracuse, Du Pont i Mathieson podejmuje ruch szereg mniejszych fabryk; we Francji w 1929 r. pracuje już kilkanaście wytwórni związków azotowych



Rys. 35. Nowoczesna fabryka kwasu azotowego i pochodnych w Norwegii

z Etablissements Kuhlman na czele, stosujących głównie metody Casalégo lub Claude'a; w Belgii Société Belge de l'Azote uruchamia w 1925 r. pierwszą fabrykę tego typu; mediolański koncern chemiczny Montecatini rozwija produkcję amoniaku w ramach przedsiębiorstwa Societa Italiana Ammonia w fabrykach w Sinigo koło Meranu (uruchomiona w 1925 r.), Cotrone-Sycylia (uruchomiona w 1927 r.) i w kilku mniejszych zakładach; w Japonii towarzystwo Nippon Chisso Hiryo eksploatuje patenty Casalégo, a od 1928 r. również patenty Fausera w kilku wytwórniach w samej Japonii oraz na Korei i w Mandżurii; fabryki pracujące metodą fauserowską buduje się po wojnie w Polsce, w Holandii, w Kanadzie, metodę Claude'a stosuje hiszpańska fabryka należąca do Sociedad Iberica del Nitrogeno, metodę NEC wprowadza się do Czechosłowacji i Polski itd.

Niemniej wyraźnie poczyna przejawiać się znamienny dla tego okresu fakt, że wielkie, wielowydziałowe wytwórnie, rozwiązujące konsekwentnie zagadnienia materiałowe i techniczne, mają zapewnione najlepsze i najtrwalsze powodzenie gospodarcze. Jest to wynikiem szczegól-

nych cech znamionujących przemysł chemiczny. W przeciwieństwie do wielu przemysłów przetwórczo-mechanicznych, przemysł chemiczny rozwinął się stosunkowo nagle i dlatego nie był obciążony ani przestarzałymi urządzeniami, ani archaiczną strukturą organizacyjną; jego produkcja natomiast ma typowo długołańcuchowy charakter. Wiele produktów ubocznych lub odpadkowych, a nawet produktów końcowych z jednych procesów stanowi surowiec dla innych wytworów i może być wyzyskane korzystniej w przerobie bezpośrednim i ciągłym; kwestia surowców i ich jakości, sprawa wyboru najodpowiedniejszej technologii dla danych warunków, wymaganie racjonalnego zagospodarowania i wyzyskania odpadkowych wartości energetycznych, dysponowanie wysokokwalifikowaną i możliwie nie zmieniającą się kadrą pracowniczą, zmontowanie ciągłej współpracy ruchu fabrycznego z pracownią naukowo-badawczą, a nawet konieczność odprowadzenia ścieków i odpadków lotnych, wszystko to stanowi w fabryce chemicznej zagadnienia wielkiej wagi. Z każdą nowopowstającą fabryką chemiczną jest związane szczególnie wielkie ryzyko finansowe, przede wszystkim z powodu możliwości odkrycia i zastosowania prostszych, znacznie sprawniejszych i tańszych metod pracy; również głęboki wpływ na powodzenie tych przemysłów, jak wskazują przykłady w wielu krajach, wywierać mogą warunki prawne i administracyjne, wynikające z przepisów celnych, akcyzowych, patentowych, traktatowych, standaryzacyjnych itp. Do tego wszystkiego dołącza się często konieczność stwarzania przez sam przemysł rynku zbytu i ciągłego pielęgnowania jego rozwoju.

Dopiero na tym tle stają się zrozumiałe tendencje tworzenia w dziedzinie przemysłu chemicznego organizacji nadrzędnych o charakterze karteli czy trustów, łagodzących lub eliminujących przejawy wzajemnej konkurencji poszczególnych przedsiębiorstw, czuwających nad specjalizacją i racjonalizacją ich programów wytwórczych, ubezpieczających przed zbyt gwałtownymi zmianami metod produkcyjnych, wyrównujących nadmierne zyski pozycjami przynoszącymi chwilowe straty, łożących na wspólne, a kosztowne prace twórcze i badawcze oraz na wspólny aparat handlowy i oczywiście strzegących także własnych interesów, zysków i wymagań własnej polityki.

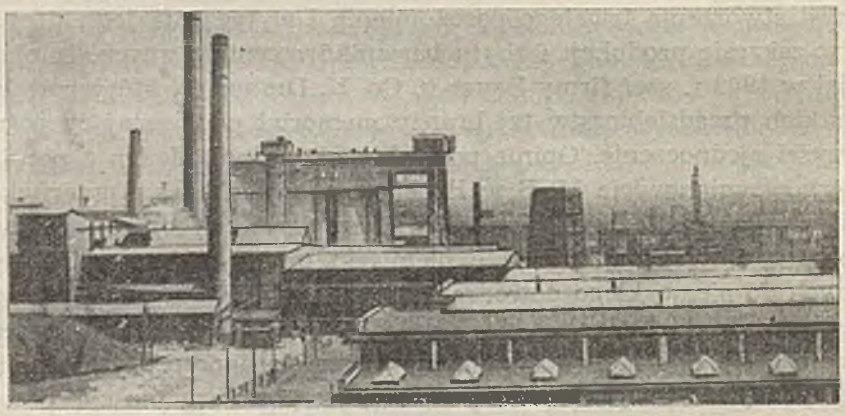
W Niemczech pierwsze podniety do tworzenia takiej organizacji zrodziły się w dyrekcji największego koncernu chemicznego BASF, na tle bardzo kosztownych badań nad syntezą indyga. Doświadczenia przeszłości wskazywały, że gdy idzie o studia nad konkretnie określonymi barwnikami, szczególnie nad syntezą produktów naturalnych o skomplikowanej budowie, najtrudniejsze i najkosztowniejsze jest z reguły pierwsze rozwiązanie problemu; gdy jednak raz zostanie wytyczony właściwy kierunek badań, to do pozytywnych wyników końcowych można już dojść

łatwo różnymi drogami. Żaden patent nie może zabezpieczyć pierwszego odkrywcy przed takimi przypadkami. Ostatecznie więc inicjator ponosi bardzo wielkie i ryzykowne nakłady, a korzyści materialne zbierają często inni. Jeżeli zaś na tym tle wyłoni się ostra walka konkurencyjna, wówczas nakłady pionierskie będą na pewno stracone. Obawy takie spotęgowały się jeszcze silniej, gdy odkryto nową grupę świetnych barwników indantrenowych. Wtedy H. Brunck, naczelny dyrektor BASF rzucił myśl stworzenia trwałego porozumienia i wytyczenia jednolitej polityki w zakresie produkcji i zbytu barwników syntetycznych. Inicjatywę przejął w 1903 r. szef firmy Bayer u. Co. K. Duisberg, który rozesłał do wszystkich przedsiębiorstw tej branży memoriał podkreślający potrzebę i korzyści zjednoczenia. Opinie podzieliły się jednak. Jeden z potężnych koncernów, mianowicie MLB w Höchst, wypowiedział się przeciwko jednolitej organizacji, wskazując, że właśnie współzawodnictwo technologiczne i handlowe doprowadziło niemiecki przemysł barwników syntetycznych do niezwykłego powodzenia i przewagi światowej. Myśl wspólnoty interesów kiełkowała jednak dalej. W 1905 r. powstała Interessen-Gemeinschaft Pharma, tj. wspólnota w zakresie handlu preparatami farmaceutycznymi, co prawda niepełna, gdyż poza organizacją pozostały dwie poważne firmy: Schering oraz Kahlbaum. W zakresie barwników uformowała się też 1. I. 1906 r. „mała wspólnota", obejmująca tylko trzy firmy, mianowicie BASF, Bayera i Agfę. Każda z nich zachowała swoją osobowość prawną i gospodarczą, zobowiązując się natomiast do wzajemnego uzgadniania planów technologicznych i polityki handlowej. W 1908 r. utworzył się drugi blok, powiązany znacznie ściślej, a oparty na wymianie akcji; należały do niego: MLB w Höchst, L. Casella we Frankfurcie n. M. i W. Kalle w Biebrich. Obie organizacje konkurowały ze sobą w kraju i na rynkach zagranicznych z wyłączeniem indyga i barwników alizarynowych, które zostały wówczas odrębnie skartelizowane. Dopiero pod wpływem wypadków wojennych i świadomości co do radykalnej zmiany sytuacji na światowym rynku barwników syntetycznych nastąpiło w 1916 r. utworzenie pełnego I. G. der Farben-Industrie, obejmującego obok obu rywalizujących grup również innych producentów barwników, jak Griesheim-Elektron, Weiler-ter-Meer, Leonhard u. Co. W latach dwudziestych I. G. Farben dysponowało w Niemczech produkcją barwników w 100%, syntetycznymi związkami azotowymi w 85%, produkcją kwasu siarkowego w 90% itd. E. Trepka[33] pisze: „przed drugą wojną światową, w Niemczech nie było prawie przedsiębiorstwa chemicznego (w najszerszym znaczeniu tego terminu), które byłoby całkowicie niezależne od wpływów I. G."

---

33 Trepka E., *Historia kolorystyki* PWN, Warszawa 1960, str. 229.

Niemniej potężne, choć zwykle bardziej zróżnicowane produkcyjnie i nieco luźniejsze powiązania organizacyjne powstały w tym czasie również i w innych krajach. Tak np. Imperial Chemical Industries Ltd. w Anglii powstały w 1926 r. przez sfuzjonowanie największych koncernów chemicznych, jak Brunner-Mond, United Alkali, Nobels'Explosives Co. i British Dyestuffs; dysponowały one w 100% brytyjską produkcją



Ogólny widok fabryki sody amoniakalnej

syntetycznych związków azotowych, zajmowały decydującą pozycję w całym dziale „ciężkiej" chemii nieorganicznej oraz reprezentowały 40% produkcji barwników. Włoski koncern Montecatini kontrolował przeszło 80% produkowanej we Włoszech siarki, 70% przemysłu superfosfatowego, 60% związków azotowych i kwasu siarkowego itd. We Francji koncern Etablissements Kuhlman rozporządzał produkcją barwników syntetycznych w 80%, wytwórczością kwasów i nawozów fosforowych w 70% oraz w 30% związkami azotowymi. Podobną sytuację zdobywa w tym czasie potężny koncern familijny E. J. Du Pont de Nemours and Co. w Ameryce albo Union Chimique w Belgii itd.

Ostatecznie więc i w tym burzliwym okresie, przełamanym przez destrukcyjne siły wojny, chemia zapisała na swoim koncie historycznym nowe i wielkie aktywa. Dorobek naukowy posiadał tak doniosłe i przełomowe osiągnięcia, jak odkrycie pierwiastków promieniotwórczych, pogłębienie wiedzy o istocie materii i energii, skierowanie olśniewających reflektorów świetlnych na uszeregowanie okresowe pierwiastków, odkrycie ultramikroskopu, opracowanie nowych zasad analitycznych lub sformułowanie ważnych teorii o roztworach, jonizacji, ciśnieniu osmotycznym itd. Technologia chemiczna uniezależniła ludzkość w zakresie produkcji głównych nawozów sztucznych i w ciągu stosunkowo krótkiego czasu podwoiła w niejednym z państw zbiory zbóż, ziemniaków, bura-

ków cukrowych czy bawełny. W tym czasie rozwinęła się znacznie biochemia i podjęła szereg doniosłych i nowych zagadnień o dużej wartości praktycznej, jak rozpoznanie i wyodrębnienie witamin, synteza niektórych alkaloidów, hormonów itp. Elektrochemia i elektrotermia stały się podwaliną nowych i wielkich przemysłów o najwyższej użyteczności społecznej i gospodarczej. Współpraca chemii z metalurgią okazała się niezwykle owocna. Na takiej podstawie w ciągu ćwierćwiecza rozwinął się przemysł aluminiowy, a do poważnego znaczenia doszła produkcja metalicznego magnezu, sodu, potasu oraz wytwórczość przeróżnych stopów: kadmu, chromu, niklu, wolframu, tytanu, wanadu, krzemu i wielu innych o wysokim stopniu odporności na działanie czynników chemicznych, mechanicznych i wyższych temperatur. Wreszcie nowe metody syntetyczne, posługujące się w najszerszej skali wysokimi i niskimi ciśnieniami, wysokimi temperaturami, katalizatorami, precyzyjnymi systemami destylacji etc., otwarły przed technologią nieorganiczną i organiczną nieskończone horyzonty powstania i pełnego rozwoju nowych przemysłów: azotowego, paliw ciekłych i gazowych, półproduktów organicznych, kwasów tłuszczowych, węglowodorów aromatycznych, leków, tworzyw sztucznych, kauczuków itd.

Chemia czysta nie tylko uporała się w tym okresie ze splotem wielkich trudności, z narzuconymi siłą faktów zadaniami zawsze złożonymi, a czasem przeciwstawnymi, ale ponadto zdołała pomnożyć swoje siły twórcze do tego stopnia, aby w najbliższej przyszłości zapewnić sobie nowe epokowe osiągnięcia i nowe historyczne zwycięstwa.

Rozdział IX

Chemia triumfująca. 1926 — 1960

W ubiegłym 50-letnim okresie, od 1876 do 1925 r., w zakresie chemii przemysłowej dokonała się prawie niespostrzeżenie istna rewolucja. Początkowo rozliczne fragmenty przemian były tak małe, a ich częstotliwość tak wielka, że doniosłość tego procesu nie budziła szczególnego zainteresowania. Dopiero z perspektywy lat można zdać sobie w całej pełni sprawę z tego, jak bardzo inna jest technologia chemiczna po roku 1925 od tej, która była aktualna pod koniec ubiegłego stulecia. Wszystkie części składowe tej nauki zostały przebudowane tak głęboko, wszechstronnie i tak zasadniczo, jakby te dwie rzeczywistości odległe od siebie zaledwie o pół wieku nie miały ze sobą nigdy nic wspólnego. Również wszystkie środki pomocnicze i operacyjne, reprezentowane obecnie przez nową naukę — inżynierię chemiczną, uległy w tym czasie tak gruntownej zmianie, że trudno byłoby tu mówić o normalnym procesie ewolucyjnym. Tymi przemianami zajmują się szczegółowo nowoczesne podręczniki technologii chemicznej i publikacje specjalne[1]. Możemy zatem zinwentaryzować tylko fakty najdonioślejsze i najbardziej charakterystyczne z historycznego punktu widzenia.

Przede wszystkim więc sama podstawa materiałowa chemii stosowanej uległa w tym okresie nie tylko bardzo znacznemu rozszerzeniu, ale również i najistotniejszym przemianom. Już w drugiej połowie XIX w. surowce stosowane w chemii były dość liczne i przetwarzane w niemałych ilościach. Do najważniejszych zaliczano wówczas: rudy metaliczne, sól kuchenną, saletrę chilijską, fosforyty, sole potasowe, siarkę, kamień wapienny, piryty, boksyt, grafit, piasek zwykły i monacytowy, różne glinki i niektóre pierwiastki rzadkie oraz z grupy organicznej — obok wielu płodów rolnych — węgiel, ropę naftową, łupki bitumiczne, bawełnę, drewno, celulozę, tłuszcze, garbniki, kości i niektóre pochodne tych

---

1 Winnacker K., Weingaertner E., *Chemische Technologie*, I — IV München 1950—52; *Reports on the Progress of Applied Chemistry, London.*

surowców, jak koks, smoła węglowa, octan wapnia, alkohol metylowy, benzen itp. Operowano więc z reguły substancjami stałymi, przeważnie pochodzenia naturalnego. W trzecim dziesięcioleciu bieżącego wieku zarysowują się w tym zakresie wyraźne zmiany zarówno ilościowe, jak i jakościowe.

Np. produkcja surowych fosforytów i apatytów, dochodząca w skali światowej do 1 mln ton w 1887 r., podniosła się w ciągu następnych 50 lat do 13,7 mln ton, a po upływie dalszych 20 lat do 37,5 mln ton (w 1959 r.)[2]. Produkcja boksytu na początku bieżącego wieku nie dochodziła do 50 tys. ton rocznie, ale w 1937 r. wynosiła już 3,7 mln ton, natomiast w 1959 r. 16,6 mln ton. Wiązało się to ściśle z gwałtownym rozwojem wytwórczości metalicznego glinu metodą elektrochemiczną: światowa produkcja tego metalu reprezentowała w 1900 r., ok. 8 tys. ton, w 1937 r. zbliżała się do pół miliona ton, a w 1957 r. osiągała już 3,5 mln ton. Jeszcze przed wybuchem pierwszej wojny światowej ilość produkowanej siarki elementarnej nie dochodziła do miliona ton; obecnie waha się w granicach 7—8 mln ton rocznie, przy czym dochodzą nowi wytwórcy, jak Francja czy Polska, i produkcja wzrasta szybko dalej. Wydobycie pirytów w latach dwudziestych wynosiło rocznie ok. 6 mln ton, a w 1959 r. wzrosło do 17 mln ton. Podobny obraz dynamicznego rozwoju ilościowego można skonstatować w zakresie prawie wszystkich surowców nieorganicznych i ich podstawowych pochodnych, przy ciągłym różnicowaniu się ich zapotrzebowania i zastosowania. Tak np. coraz większe ilości siarki zużywają dziś zakłady wulkanizacji kauczuku lub wytwórnie dwusiarczku węgla stosowanego szeroko w przemyśle jedwabiu sztucznego, czysta siarka zaś wypiera coraz wyraźniej inne surowce używane do produkcji kwasu siarkowego. W USA już obecnie 65% całkowitej wytwórczości kwasu, wynoszącej 16 mln ton rocznie w przeliczeniu na 100-proc. kwas, opiera się o przerób siarki elementarnej. Wielkim surowcem stał się w ostatnich dziesięcioleciach fosfór i kwas fosforowy, stosowany do otrzymywania skoncentrowanych nawozów fosforowych. Innym przykładem rozwoju zapotrzebowania może być fluor, nie odgrywający przed 25 laty większej roli przemysłowej; obecnie pochodne organiczne fluoru zyskały szerokie zastosowanie np. jako smary odporne na wysokie i niskie temperatury, polimery i tworzywa odporne na działanie wszystkich znanych rozpuszczalników (np. teflon), substancje używane w chłodnictwie (freony), a fluorowodór albo fluorek boru stosowane są jako katalizatory.

---

[2] Dane statystyczne zaczerpnięto z publikacji: *United Nations, Statistical Yearbook*, 1950—1960 r.; *Conseil de l Europe, Donnés Statistiques*, Strasbourg; *Roczniki statystyczne:* Polski, Wielkiej Brytanii, NRF; Woytinsky Wl., *Die Welt in Zahlen, Berlin;* czasopismo „Chemik" itd.

Te same tendencje, z reguły w jeszcze wyższym stopniu, przejawiają się w zakresie surowców organicznych. W 1900 r. wydobycie ropy naftowej przekroczyło 20 mln ton i przy dalszym wzroście produkcji powstawały w kołach fachowych obawy o zbyt szybkie wyczerpanie się tego cennego paliwa i surowca. Gorączka naftowa obejmowała wciąż nowe tereny na kuli ziemskiej, a produkcja wzrastała nieustannie; w r. 1920 wydobyto już ok. 100 mln ton, a w 1940 r. ok. 300 mln ton, obecnie zaś ok. miliarda ton rocznie. Wszystkie dawne oceny zasobów naftowych w ziemi okazały się tak samo błędne jak teoretyczne wywody co do lokalizacji źródeł naftowych głównie w strefie umiarkowanej. W południowych okręgach Bliskiego Wschodu i na Saharze (odwierty w Edjele na głębokości 4200 m) odkryto niezwykle bogate i wydajne źródła naftowe. W 1922 r. urząd geologiczny USA ocenił światowe zapasy ropy na 6,3 mld ton[3]. W 1945 r. zwiększono ten szacunek do 8,7 mld ton, a w 1958 r. do 38 mld ton i to bez uwzględnienia najnowszych odkryć ropy na Saharze[4]. Z punktu widzenia naszego tematu ważniejsze jest jednak to, że w ostatnich dziesięcioleciach ropa naftowa, usuwając na dalszy plan takie tradycyjne surowce, jak smoła węglowa, benzen, łupki bitumiczne itp., stała się pierwszorzędnym dostawcą ogromnej liczby podstawowych surowców dla nowoczesnej chemii przemysłowej. Tak powstał w najnowszych czasach zdumiewająco szybko nowy i wielki dział przetwórczy chemii, zwany petrochemią.

Początkowo metody krakingu katalitycznego zabezpieczyły dostawę paliw silnikowych według wszelkich wymagań w ilościach praktycznie nieograniczonych. Doświadczenia zdobyte na uruchomionej w 1936 r. pionierskiej instalacji Houdry, stosującej metodę krakingu katalitycznego, zezwoliły na rozwój wielu pokrewnych systemów pracy tak, że w 1943 r. pracowało już w świecie 75 instalacji tego typu, przerabiających ok. 140 tys. ton produktów naftowych na dobę[5]. Następnie zostały opracowane i zrealizowane specjalne metody krakowania termicznego lub katalitycznego o szerokiej skali odmian ruchowych i aparaturowych, nazywane „reformowaniem" (metoda rozpowszechniona w czasie drugiej wojny światowej T. C. R., tj. Termofor-Catalytic-Reforming); krakowanie to umożliwia przetwarzanie frakcji naftowych wrzących w temperaturze powyżej 90 °C na podstawowe węglowodory aromatyczne. W 1942 r. jedna specjalna rafineria nafty w USA dostarczała na potrzeby przemysłu wojennego więcej toluenu niż cały silnie rozwinięty przemysł pochodnych węgla Ameryki. W obu grupach procesów krakingowych powsta-

[3] Woytinsky W., *Die Welt in Zahlen*, t. IV, R. Mosse-Buchverlag, Berlin 1926, str. 142.

[4] *Chemik*, *13*, 27 (1960)

[5] *Brennstoff-Chemie*, 35, 88 (1953).

ją jednak w ogromnych ilościach różne produkty uboczne, gazowe i ciekłe, o przewadze związków typu olefinowego, a więc substancje szczególnie aktywne chemicznie. Konieczność wyzyskania i łatwość przetworzenia tych cennych produktów ubocznych stała się fundamentem rozwoju petrochemii. Gdy zaś po wojnie wydobycie ropy zaczęło w zawrotnym tempie z roku na rok wzrastać, gdy równocześnie ceny węgla zwyżkowały do tego stopnia, że zachwiały podstawami rentowności wielu działów przemysłu chemicznego, ugruntowanego na przerobie węglopochodnych, gdy wreszcie okazało się, że surowce petrochemiczne, przy niezwykłym uproszczeniu metod i przy obniżce kosztów własnych, prowadzą również do wielu półproduktów i produktów końcowych, związanych dotąd z węglem i jego pochodnymi, wówczas nastąpiło generalne i ostateczne przeorientowanie się technologii i przemysłu w stronę petrochemii.

W połowie 1957 r. czynnych było w świecie 740 rafinerii naftowych, o zdolności przetwórczej powyżej miliarda ton ropy rocznie, wśród których największe i najnowsze nastawione były na produkcję petrochemiczną, oddającą na rynek miliony ton przeróżnych produktów.

Drugim, pokrewnym surowcem, który w ostatnich latach zrewolucjonizował wiele metod przetwórczych w przemyśle chemicznym organicznym i nieorganicznym, był gaz ziemny. Należy jednak przypomnieć, że jeszcze na początku bieżącego stulecia większą część tego, dziś bezcennego surowca chemicznego marnowano bezużytecznie, wypuszczając z odwiertów w powietrze gaz łącznie z najczystszą gazoliną. W okresie pierwszej wojny światowej, w obliczu rosnących trudności opałowych poczęto w sposób przeważnie dość prymitywny zużywać gaz jako tanie paliwo. Gospodarka gazem ziemnym weszła zarówno w Ameryce, jak i w Europie na tory bardziej racjonalne dopiero w latach dwudziestych, a w następnym dziesięcioleciu zdano sobie w całej pełni sprawę z tego, że gaz ziemny, a nawet niektóre z jego „zanieczyszczeń" stanowią źródło wysokowartościowych surowców. Odtąd wydobycie gazu ziemnego rozwija się w tempie nie mniejszym niż eksploatacja ropy naftowej. Już w 1954 r. zużywano gazu ziemnego w przeliczeniu kalorycznym 6 razy więcej niż sumaryczne zużycie gazu koksowniczego i 20 razy więcej niż gazu węglowego wytworzonego we wszystkich gazowniach świata[6]. W latach 1939—1959 światowe wydobycie gazu ziemnego wzrosło czterokrotnie, a do wielkich producentów obok USA (wydobycie 341 mld m^3) i Związku Radzieckiego (18,6 mld m^3 w 1957 r. i 35,4 mld m^3 w 1959 r.) zaliczały się: Rumunia (9,5 mld m^3), Kanada (12,1 mld m^3), Włochy (6 mld m^3), Meksyk (6 mld m^3), Venezuela, Indonezja, Iran i Brunei (Borneo) oraz Argentyna. W ostatnich latach nastąpił jednak dalszy, gwałtowny wzrost wy-

[6] *United Nations, World Energy Supplies*, 1951—1954, N. York, 1957, str. 118.

dobycia gazu i obecnie obok już wymienionych do ważniejszych dysponentów gazu w Europie można zaliczyć Francję, Czechosłowację, Austrię, Węgry, NRF i Polskę. Szczególnie słynne stały się francuskie źródła gazowe w Lacq, których zapasy oceniono wstępnie na 200 mld m^3; źródła te już dziś dają Francji nie tylko znaczne ilości gazów typu węglowodorowego dla jej własnych fabryk chemicznych i na eksport do Belgii, NRF, Holandii i Szwajcarii, ale ponadto coraz większe ilości siarki (z siarkowodoru zawartego w gazie). Również w Związku Radzieckim osiągnięcia ostatnich lat zasługują na podkreślenie, gdyż umożliwiają, po zaspokojeniu własnych potrzeb, znaczny eksport gazu ziemnego. Wreszcie wielkie znaczenie ma odkrycie w 1956 r. źródeł gazu i gazoliny koło Hassi R'Mel na Saharze, uważanych obecnie za najzasobniejsze z istniejących na świecie. Zapasy tego gazu ocenia się na 450—500 mld m^3, a ma on być doprowadzony w 1963 r. do Europy zachodniej. Należy też odnotować, że również na dalekiej północy mają istnieć szanse odkrycia złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Jednym ze znamiennych faktów ilustrujących znaczenie surowcowe gazu ziemnego jest udana próba przewiezienia statkiem-cysterną w 1959 r. dużej ilości skroplonego gazu ziemnego z Luizjany do Wielkiej Brytanii. Każda tona ciekłego produktu odpowiadała 1400 m^3 gazu.

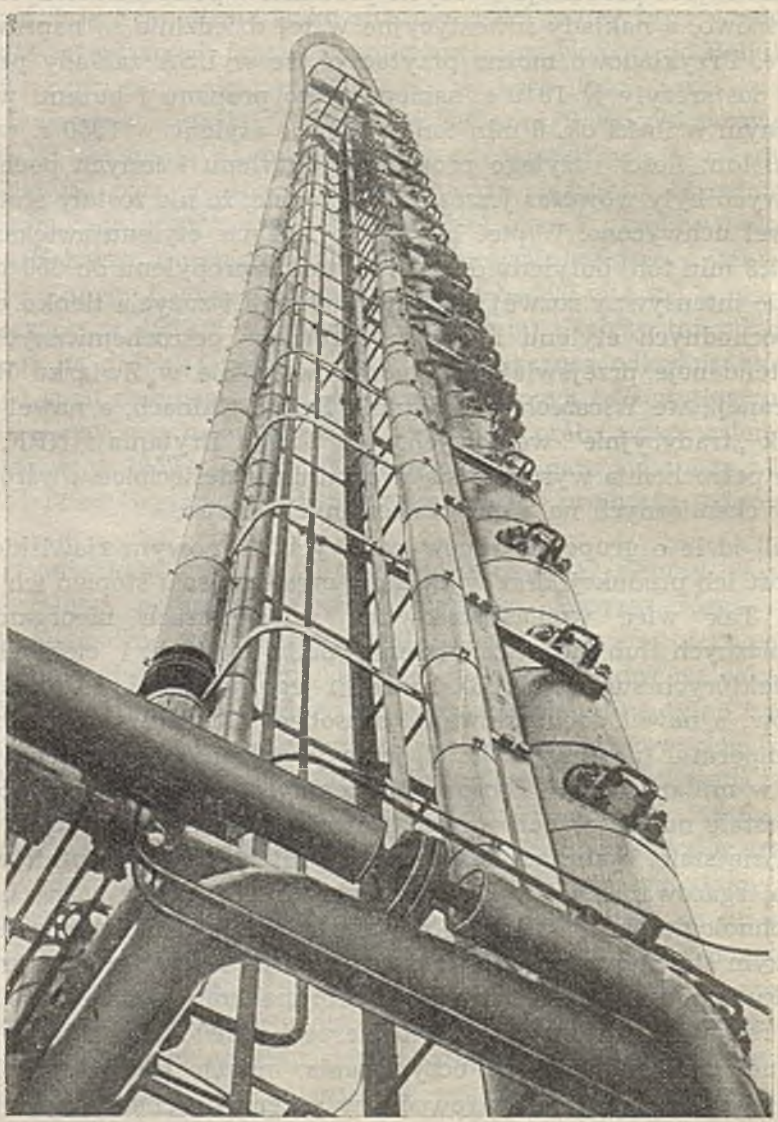
Oba wymienione surowce, tj. ropa naftowa i gaz ziemny, są podstawą materiałową przemysłu petrochemicznego. Poprzez różne reakcje i procesy chemiczne przemysł ten stał się dziś głównym, a w pewnych przypadkach wyłącznym dostawcą wielu ważnych surowców, jak wodór, metan, homologi metanu, etylen, propylen, butyleny, acetylen, metanol, etanol, cyjanowodór, eter etylowy, tlenek etylenu, chloropochodne etylenu, alkohol i eter izopropylowy, aceton, gliceryna, *n*-butanol, izobutanol, butadien, węglowodory aromatyczne i wiele innych. Każda z wymienionych substancji jest surowcem wielu pochodnych. Wodór oraz mieszanina wodoru i tlenku węgla, otrzymana różnymi metodami z gazu ziemnego lub z gazów naftowych, mogą być użyte bądź to do syntezy amoniaku, bądź też do syntezy metanolu lub węglowodorów nasyconych; acetylen wytwarzany od 1926 r. również na drodze petrochemicznej może służyć jako surowiec do syntezy aldehydu i bezwodnika octowego, kwasu chlorooctowego, acetonu, octanu winylu, a np. winyloacetylen stosowany jest do produkcji kauczuków syntetycznych: amerykańskiego neoprenu, radzieckiego sowprenu, japońskiego mustonu itp. Węglowodory olefinowe pochodzenia petrochemicznego stosuje się dziś na wielką skalę do syntezy alkoholi, kwasów organicznych, rozpuszczalników, specjalnych smarów, detergentów itd. Zasadnicze surowce do produkcji polimerów od etylenu po styren, kwas akrylowy, akrylonitryl i butadien lub surowce polikondensatów, a przede wszystkim półprodukty do fabry-

kacji włókien syntetycznych, jak kwas adypinowy, sześciometylenodwuamina, kaprolaktam, cyjanek winylidenu, czterofluoroetylen itd. są związane lub uzależnione od petrochemii. To też we wszystkich uprzemysłowionych krajach produkcja i zużycie produktów petrochemicznych wzrasta lawinowo, a nakłady inwestycyjne w tej dziedzinie są naprawdę rekordowe. Przykładowo można przytoczyć, że w USA zakłady petrochemiczne dostarczyły w 1949 r. samego tylko propanu i butanu w stanie skroplonym w ilości ok. 6 mln ton, a zużycie etylenu w 1950 r. wyniosło 680 tys. ton; ilości zużytego propylenu, butylenu i innych pochodnych olefinowych były wówczas jeszcze tak skromne, że nie zostały statystycznie nawet uchwycone. W pięć lat później zużycie etylenu zwiększyło się już do 1,3 mln ton, butylenu do 1,0 mln ton, a propylenu do 650 tys. ton. Podobnie intensywny rozwój dotyczy produkcji i zużycia tlenku etylenu, chloropochodnych etylenu i innych surowców petrochemicznych[7]. Podobne tendencje przejawiają się bardzo wyraźnie w Związku Radzieckim, Francji, we Włoszech, w Holandii, Belgii, Chinach, a nawet w krajach tak „tradycyjnie" węglowych, jak Wielka Brytania i NRF. W rezultacie petrochemia wysunęła się w ostatnim dziesięcioleciu wśród przemysłów chemicznych na jedno z naczelnych miejsc.

Jeżeli idzie o grupę surowców gazowych, to nowym zjawiskiem jest masowość ich produkcji oraz wymagany często wysoki stopień ich oczyszczenia. Tak więc wodór stosowany w syntezach nieorganicznych i organicznych lub do uwodorniania paliw stałych i ciekłych, rafinacji niektórych surowców, jak benzen i jego homologi, do utwardzania tłuszczów, a nawet do uzyskiwania sposobem Langmuira bardzo wysokich temperatur (powyżej 3000 °C) jest wytwarzany obecnie różnymi metodami w miliardach m^3. Stosowanie tlenu technologicznego zapoczątkowane zostało na skalę wielkoprzemysłową w latach trzydziestych i odtąd rozwija się stale, zyskując wciąż nowych odbiorców, jak hutnictwo, metalurgia, zgazowanie paliw stałych, ciekłych oraz wiele różnych procesów technologicznych. Podobnie poważnym surowcem i materiałem pomocniczym stał się czysty azot, zużywany w miliardach m^3 do produkcji azotniaku, amoniaku syntetycznego, żywic melaminowych lub do prowadzenia reakcji chemicznych w atmosferze beztlenowej, zaś w postaci skroplonej do precyzyjnego oczyszczania innych gazów itd. Jednym z ważniejszych i wielkich surowców w przemyśle chemicznym stał się amoniak. Jest on dziś główną podstawą produkcji nawozów azotowych, kwasu azotowego i azotanów. Ponadto znalazł szerokie zastosowanie do produkcji niektórych materiałów wybuchowych, sody, tworzyw sztucz-

[7] *Chemik*, 12, 444, 451 (1959); *L'Industrie Cimique en Europe*, OEEC, Paris 1961, str. 63—70.

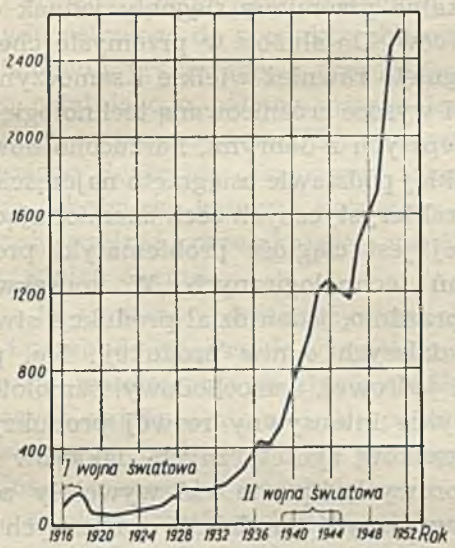
nych, włókien nylonowych, leków, barwników, lakierów itd. Jednakże najbardziej rewolucyjny przewrót dokonał się w dziedzinie produkcji i zastosowania chloru gazowego. Od dość dawnych czasów stosowano



Instalacja do wydzielania propanu i butanu z gazu ziemnego

chlor do produkcji środków bielących lub do dezodoryzacji substancji organicznych; w 1904 r. w czasie epidemii tyfusu w Wielkiej Brytanii zastosowano tam ten gaz po raz pierwszy do chlorowania wody pitnej. Wszystko to stwarzało podstawy umiarkowanego rozwoju, a produkcja

światowa doszła w 1937 r. do 370 tys. ton. Dopiero szerokie zastosowanie chloropochodnych półproduktów organicznych (np. winylowych, winylidenowych, czterochlorku węgla, fosgenu, trójchloroetylenu, sześciochlorocykloheksanu itd.) do produkcji tworzyw sztucznych, kauczuków syntetycznych, detergentów, rozpuszczalników, insektycydów i in. zmieniło gruntownie całą sytuację, a produkcja chloru gazowego zaczęła bardzo szybko wzrastać w wielu państwach[8]. W 1957 r. produkcja chloru osiągała 6,5 mln ton i wzrastała intensywnie nadal.



Wykres rozwoju produkcji chloru w USA

Nie siląc się na zestawienie wyczerpującej listy stosowanych obecnie w chemi przeróżnych materiałów wyjściowych należy jeszcze wskazać na niektóre produkty lub grupy produktów szczególnie ważnych w ostatnim 15-leciu z punktu widzenia przemysłowego. Tak więc wszystkie związki aromatyczne stanowią nadal grupę cennych i poszukiwanych surowców, stosowanych w wielu działach przetwórczych. Szczególne znaczenie wśród nich zyskały: fenol, poszukiwany surowiec do produkcji fenoplastów lub syntetycznych garbników; pochodne benzenu z wyższymi rodnikami alkilowymi, których kwasy sulfonowe znalazły szerokie zastosowanie do produkcji detergentów; wreszcie bezwodnik ftalowy, wytwarzany od 1946 r. w ilościach wciąż wzrastających i stosowany do fabrykacji żywic alkidowych, barwników, plastyfikatorów, insektycydów itd. Również szereg związków heterocyklicznych, a przede wszystkim

[8] *The Chemical Industry in Europe*, OEEC., Paris 1959, str. 74; L'Industrie Chimique en Europe, OEEC, Paris 1961, str. 48.

pirydyna i chinolina, odgrywa dziś doniosłą rolę w syntezach niektórych leków. Ponadto do syntezy kwasu akrylowego i akrylonitrylu używane są w dużych ilościach związki cyjanowe, do włókna terylenowego stosowany jest glikol etylenowy, do produkcji ważnych tworzyw sztucznych i włókien syntetycznych surowcami są również kazeina i mocznik, a np. melasa znalazła zastosowanie do fabrykacji niektórych detergentów itd. Oto skrócony obraz nowej i wszechstronnie rozbudowanej podstawy materiałowej nowoczesnej chemii przemysłowej.

Głębokie i radykalne przemiany sięgnęły jednak daleko poza zakres samych tylko surowców. Do służby w przemyśle chemicznym ostatnich dziesięcioleci wprzęgnięto również wielkie i samoczynne siły rozwojowe, wprowadzono nową i wysoce zróżnicowaną technologię, zmontowano ostrą rywalizację metod lepszych z dobrymi, narzucono nową i sprawną organizację pracy i na takiej podstawie osiągnięto najczęściej bardzo pomyślne wyniki. Jedną z charakterystycznych cech znamionujących obecny rozwój chemii przemysłowej jest ciągłość problematyki produkcyjnej i zazębianie się rozwiązań technologicznych. W konsekwencji, jak o tym wspomniano już poprzednio, jeden dział produkcji stwarza nacisk na powstawanie innych, dalszych ogniw produkcji. Np. przemysły elektrotechniczny i energii jądrowej, samochodowy, samolotowy, filmowy i in. spowodowały niezwykle intensywny rozwój produkcji tworzyw sztucznych, żywic i kauczuków syntetycznych, lakierów nitrocelulozowych, olejów transformatorowych itp.; te zaś wywołały ze swej strony powstanie i łańcuchowy rozwój produkcji rozlicznych rozpuszczalników, zmiękczaczy, wypełniaczy, katalizatorów itd. L. H. Cragg i R. P. Graham [9] przytaczają konkretny i interesujący przykład kompleksowego rozwiązania całego łańcucha procesów przetwórczych przez firmę The Consolidated Minning and Smelting Co. of Canada, Ltd. w ten sposób, że w jednym cyklu przetwarza się wiele surowców i kilka produktów odpadkowych w sposób najbardziej racjonalny, łączący zagadnienia metalurgiczne z chemicznymi w jedną całość.

Również zmaganie się różnych metod przetwórczych było w tym czasie zjawiskiem powszechnym. Typowym tego przykładem może być to, że jeszcze w latach dwudziestych więcej niż 70% sumarycznej produkcji sody żrącej otrzymywano przez kaustyfikację sody amoniakalnej; w trzydzieści lat później 70% tego produktu wytwarzano już metodą elektrolityczną. Nowa katalityczna metoda redukcji związków nitrowych wodorem wypiera metody tradycyjne. Praktyka przemysłowa zna wiele zróżnicowanych metod syntezy fenolu, butadienu, akrylonitrylu, kwasu metakrylowego, acetonu, cyjanowodoru, gliceryny, aldehydu octowego itd.

[9] *Podstawy nowoczesnej chemii ogólnej*, PWT, Warszawa 1958, str. 395.

Zaledwie ustalone zostały w praktyce podstawowe metody produkcji kauczuku syntetycznego: butadienowo-styrenowego i butadienowo-nitrylowego, chloroprenowego, butylowego itp., a już zaczynają się pojawiać inne metody, operujące innymi założeniami i częściowo innymi surowcami w usiłowaniu podwyższenia własności jakościowych tworzywa lub obniżenia kosztów produkcji albo uwolnienia się od obcych licencji. Z tych motywów firma Montecatini podjęła produkcję tworzywa pośredniego pomiędzy kauczukiem naturalnym a butadienowo-styrenowym na podstawie kopolimeryzacji etylenu i propylenu; w Japonii opracowano metodę polimeryzacji aldehydu octowego do produktu zbliżonego właściwościami do kauczuku butadienowo-styrenowego, z tym że koszt własny ma być w stosunku do tego ostatniego o połowę niższy. Jeszcze inną odmianę kauczuku izoprenowego wytworzono w USA; wszystkie atomy wodoru w monomerze zastąpiono deuterem. Tworzywo takie — na razie zbyt drogie — przewyższa jakościowo kauczuk naturalny. Przytoczone fakty, są odbiciem tendencji ogólnej, przenikającej współcześnie całokształt technologicznych zagadnień chemii.

Również wszystko to, co stanowi treść inżynierii chemicznej, znajduje się w ciągłym ruchu i przebudowie. Przede wszystkim więc dość powszechnie przejawia się myśl instalowania możliwie wielkich jednostek produkcyjnych, pracujących najekonomiczniej. Na początku XX w. w przemyśle karbidowym stosowano małe, pracujące periodycznie piece tyglowe, o mocy ułamka jednego megawata; podobnie małe i prymitywne były piece elektryczne do produkcji białego fosforu. Obecnie stare urządzenia zostały wyparte z praktyki ruchowej: przemysł karbidowy dysponuje piecami ciągłymi, zautomatyzowanymi i zamkniętymi o mocy 40—50 MW, a przemysł fosforowy podobnymi jednostkami o mocy 10—15 MW. Identyczną ewolucję przeszły jednostki produkcyjne w gazownictwie, koksownictwie, w wytwórniach kontaktowego kwasu siarkowego, azotowego, azotniaku, penicyliny i wielu innych. Ogromne triumfy technologiczne święcą dziś metody katalityczne i ciśnieniowe, wprowadzone do „wielkiej" praktyki ruchowej przez przemysł syntezy amoniaku. Na tej podstawie oparły się tak ważne działy wytwórczości chemicznej, jak produkcja wysokooktanowych paliw ciekłych (samolotowych), jak synteza metanolu, mocznika, alkoholi wyższych, formaldehydu, glikolu etylenowego, neoheksanu, tworzyw sztucznych i włókien, stężonego kwasu azotowego metodą kontaktową lub takie procesy, jak polimeryzacja, uwodornienie, estryfikacja, utlenianie itd. Jeden z ważnych surowców, akrylonitryl, uzyskiwano do niedawna albo z tlenku etylenu, albo z acetylenu w procesie dość skomplikowanym; obecnie firma Sihio Chemical Co. (USA) opatentowała nową prostą i wydajną metodę katalityczno-fluidyzacyjną, w której surowcami są propylen, amoniak i powietrze. Dawniejsza

metoda produkcji tlenku etylenu przez chlorohydrynę została wyparta przez nowy, katalityczny proces opatentowany przez Société Francaise de Catalyse w latach trzydziestych; polega on na prostym utlenianiu etylenu tlenem powietrza w obecności katalizatora. Podobne powodzenie zyskała nowa metoda produkcji bezwodnika ftalowego, oparta o zasadę utleniania par naftalenu powietrzem w obecności kontaktu wanadowego. Bardzo znaczny postęp zanotowano w ostatnim ćwierćwieczu w technice operowania nowymi selektywnymi rozpuszczalnikami. Stosuje się i tu nowe metody i wiele nowych substancji, jak ciekły propan, cykloheksan, propanole, butanole, furfurol, aldehyd krotonowy, ftalany, nitroparafiny, dioksan, fluorowęglowodory i in.

Najgłębszy jednak i najbardziej uderzający w oczy przewrót dokonuje się obecnie na tle rozwijającej się od lat trzydziestych mechanizacji oraz na tle zapoczątkowanej na większą skalę w latach pięćdziesiątych automatyzacji w zakresie chemii przemysłowej. Realizowana planowo mechanizacja doprowadzała istotnie w wielu przypadkach do zadziwiających wyników. W literaturze fachowej [10], przytacza się następujący, typowy i wymowny przykład. W latach trzydziestych zmechanizowano metody produkcji w fabryce wytwarzającej 30 t włókna wiskozowego na dobę przy ruchu trójzmianowym. Wyniki tej modernizacji ilustrują następujące dane:

	Wskaźniki		Ilość	Czas
	nakładów inwestycyjnych	zabudowanej przestrzeni fabrycznej	zatrudnionych robotników	przerobu jednej szarży, godz
W 1927 r. (przed mechanizacją)	100	100	507	408
w 1940 r. (po mechanizacji)	37	25	75	80

Znacznie głębszą zmianę warunków pracy powoduje automatyzacja. Stosowanie tego systemu w przemyśle chemicznym może natrafiać często na obiektywne trudności. System ten uwarunkowany jest typowością i masowością produkcji, czemu chemia nie zawsze może się podporządkować. Ale tam, gdzie zasadnicze postulaty mogą być spełnione, automatyzacja zapewnia najczęściej znaczne korzyści. System ten rezygnuje w zasadzie z niewykwalifikowanej pracy ludzkiej, a wysokokwalifikowaną redukuje do minimum. Ponadto automatyzacja otwiera możliwości zrealizowania takich procesów przetwórczych, w których pewne czynności lub zmiany cykliczne następują po sobie prędzej niż jest to możliwe do opanowania przez wysiłek ludzki. Również nieocenione usługi odda ona

[10] Winnacker K., Weingaertner E., *Organische Technologie*, t. I München 1952, str. 728.

wszędzie tam, gdzie idzie o standaryzację jakości i postaci produktów chemicznych (np. w farmaceutyce). Stopień automatyzacji stosowanej w różnych gałęziach przemysłu chemicznego musi być oczywiście różny. Czasem nadaje się do zautomatyzowania tylko kontrola ruchu (np. analityczna), niekiedy zaś dochodzi się aż do samoczynnego sterowania procesami produkcyjnymi. W wielu krajach zostały powołane do życia specjalne instytuty naukowe, mające na celu analizę zagadnień związanych z techniką automatyzacji w przemyśle chemicznym. Trzeba też stwierdzić, iż stopniowo mnożą się praktyczne osiągnięcia na tym polu. Tak np. automatyzacja w przemyśle petrochemicznym USA posunięta jest bardzo daleko; w Związku Radzieckim ocenia się, że nakłady na automatyzację w chemii amortyzują się bardzo szybko[11]. Szczególnie duży postęp w tej dziedzinie notuje się w wielkim kombinacie azotowym w Lisiczańsku oraz w kombinacie kauczuku syntetycznego w Woroneżu. Również Czechosłowacja wykazuje poważny postęp w tym zakresie. Liczne urządzenia automatyczne zastosowano tam w zakresie produkcji gazów technicznych, superfosfatu, kwasu siarkowego metodą kontaktową, w fabrykach tworzyw sztucznych itp. W zakładach chemicznych Leuna oraz Degussa w Niemczech zautomatyzowano oddziały wytwarzające metodą katalityczną po 10 tys. ton rocznie formaldehydu. Obecnie ruch każdej zautomatyzowanej wytwórni formaldehydu obsługuje na zmianę po dwóch wykwalifikowanych pracowników. W Tuluzie fabryka cyjanohydryny i wytwórnia cyjanowodoru, posługująca się metodą Andrusowa, zostały całkowicie zautomatyzowane. Ogólnie można stwierdzić, że i ten czynnik wywiera coraz wyraźniejszy wpływ w kierunku zrewolucjonizowania metod pracy i rozwoju produkcji chemicznej.

Jest zrozumiałe, że na tak zróżnicowanych i mocnych podstawach osiągnięcia technologiczne i ekonomiczne chemii w latach 1926—1960 musiały być sumarycznie bardzo pozytywne, a w szczególnych przypadkach przekraczały najśmielsze nawet oczekiwania i najoptymistyczniejsze kalkulacje. Przede wszystkim zaś nowe i wielkie triumfy święcił w tym okresie przemysł organiczny. Jedna z książkowych publikacji [12] przytacza na 82 stronach imienną listę znaczniejszych przedsiębiorstw chemicznych w 1920 r., w trzech państwach zachodnioeuropejskich. Takich przedsiębiorstw było w Niemczech 1561, w Wielkiej Brytanii 773 i we Francji 561. Od tego czasu potencjał wytwórczy przemysłu chemicznego wzrósł w skali światowej globalnie prawie 10-krotnie, a w takich krajach, jak USA lub Związek Radziecki, i w takich dziedzinach, jak two-

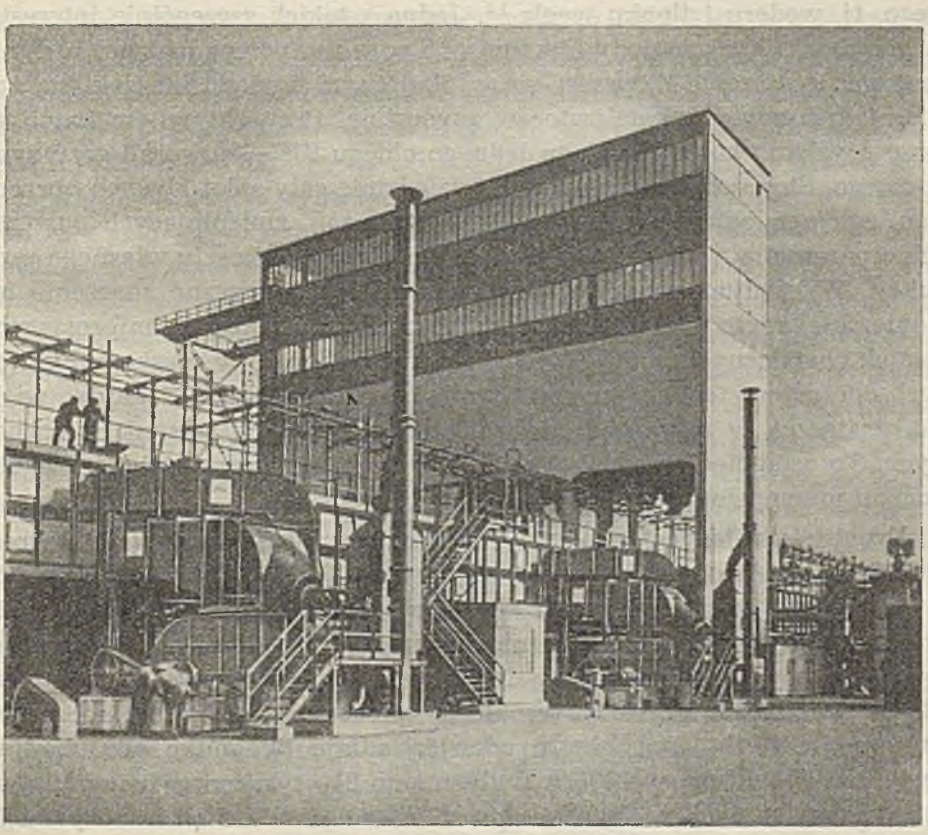
[11] Zarębski H., *Chemik*, 10 226 (1957).

[12] Dyes W. A., *Internationales Handbuch der Weltwirtschaftschemie*, Wittenberg 1921, str. 670—752.

rzywa sztuczne, kauczuki syntetyczne, włókna sztuczne i syntetyczne, jak leki, detergenty itp., postęp był tak zawrotnie szybki, że wszelkie mierniki w skali względnej straciły jakikolwiek sens. Z tego nieskończonego splotu zjawisk i faktów zróżnicowanych założeń i sprzecznych tendencji, dużych wymagań i niemniejszych osiągnięć trzeba wydobyć wspólną myśl wyznaczającą kierunki rozwojowe nowoczesnej chemii przemysłowej. Zgodnie z powyższym rozumowaniem trzeba dojść do właściwej oceny rzeczywistego udziału chemii w ogólnym dorobku cywilizacyjnym i gospodarczym ostatnich dziesięcioleci.

Trzy zasadnicze grupy surowców i trzy ciągi produkcyjne stały się w tym czasie główną dźwignią rozwojową wielu nowych gałęzi przemysłu organicznego. Materiałem wyjściowym pierwszej grupy wielkich syntez organicznych był gaz wodny lub mieszanina tlenku węgla i wodoru. Wstępne badania naukowe i pierwsze próby techniczne zrealizowane zostały stosunkowo wcześnie, bo w okresie poprzednim. Bardziej wnikliwe studia, a następnie i poważne osiągnięcia przemysłowe przypadają na okres lat 1920—1940. Operując mieszaninami wodoru i tlenku węgla w stosunku 1:1, 2:1 i 3:1 oraz ciśnieniami od 1 do 1000 atn, temperaturami od 150° do 800°C i szeroką gamą różnorodnych katalizatorów G. L. E. Patart, Fr. Fischer, H. Tropsch, H. Pichler, M. Pier, O. C. Elvins, A. W. Nash, E. A. Prudhomme, K. Winkler, R. Wietzel, T A. Holmgren i in. uzyskali bądź to metanol, bądź też wyższe alkohole, gazowe, ciekłe, a nawet stałe węglowodory nasycone i nienasycone, formaldehyd i in., a przy tym ustalili warunki technologiczne, w których powstają poszczególne grupy wymienionych związków. Niebawem przystąpiono też do wykonania prób na skalę przemysłową. W tym czasie Niemcy były najsilniej zainteresowane sprawą tych syntez, gdyż odczuwały w najwyższym stopniu swoją zależność od dostawy obcych paliw ciekłych typu silnikowego. Już więc w 1932-33 r. zrealizowana została w Leuna-Werke bezciśnieniowa synteza węglowodorów benzynowych metodą Fischera i Tropscha. Pomimo pewnych trudności technologicznych napotkanych przy realizowaniu tej metody tendencja Niemiec do usamodzielnienia się w zakresie paliw ciekłych przejawiała się z niesłabnącą siłą w latach następnych. Obok realizacji na skalę wielkoprzemysłową metody uwodornienia paliw stałych i ciekłych według patentów Bergiusa (od 1927 r.), w roku 1936 było w budowie lub nawet w ruchu pięć dużych zakładów fabrycznych do produkcji benzyny syntetycznej systemem Fischera-Tropscha. W 1939 r. wytwórnie te miały dostarczyć 500 tys. ton paliw silnikowych, a w 1940 r. ok. 700 tys. ton. Równocześnie zrealizowano katalityczno-ciśnieniową metodę H. Pichlera, umożliwiającą — przy zastosowaniu katalizatora rutenowego — syntezę parafin stałych. Pewną ilustracją rozwoju tej grupy syntez organicznych i nieorganicznych

w Niemczech w czasie drugiej wojny może być zużycie gazu wodnego w 1943 r. do celów chemicznych; zużycie to wynosiło: w 15 fabrykach uwodornienia paliw metodą Bergiusa (w tym 6 zakładów przetwarza-



Wytlewanie węgla systemem Krupp-Lurgi

jących węgiel brunatny lub smołę wytlewną z tego węgla) 7100 mln m^3, w syntezie Fischera-Tropscha 4300 mln m^3, w syntezie amoniaku 1600 mln m^3 i w syntezie metanolu ok. 1000 mln m^3. Również w innych krajach zużycie gazu wodnego lub wodoru do syntezy amoniaku, produkcji metanolu i węglowodorów przed wybuchem wojny w 1939 r. było dość znaczne [13]. Po wojnie, gdy na czołowe miejsce wysunęła się petrochemia, rozwiązując identyczne zadania znacznie prościej i taniej, zainteresowanie zarówno dla konwencjonalnej metody produkcji gazu wodnego z koksu w generatorach okresowych, jak i dla metod Bergiusa oraz

[13] Jarzyński A., *Węgiel = Chemia*, PWN Warszawa 1957, str. 174—175.

Fischera i Tropscha silnie zmalało. Niemniej jednak w czasie wojny i w latach powojennych trwały nieustanne wysiłki i prace nad udoskonaleniem i zaktualizowaniem metody Fischera-Tropscha [14] jak również nad znalezieniem nowych dróg i sposobów wytwarzania gazu syntezowego, tj. wodoru i tlenku węgla [15]. Jedna z takich szczególnie interesujących modyfikacji metody Fischera i Tropscha polega na tym, że sprężony gaz syntezowy rozprasza się w obojętnym środowisku ciekłym, zawierającym spylony katalizator w zawiesinie. Przy aktywnym katalizatorze uzyskano jakoby w ciągu jednego obiegu 97% konwersji gazu syntezowego. Stopniowo narasta i w tej dziedzinie cały splot nowych opracowań, zgłoszeń patentowych i nowych rozwiązań, zmieniających poszczególne parametry ruchowe, a dążących do obniżenia kosztu własnego produkcji. W każdym zaś razie trzeba uznać, że historyczne znaczenie tej pionierskiej metody polega na tym, że z najmniejszych i najprostszych cząstek chemicznych buduje się świadomie i planowo w nieskomplikowanych operacjach technologicznych nowe, większe lub nawet bardzo wielkie cząsteczki, w zależności od świadomie wybranych warunków ruchowych. To osiągnięcie jest oczywiście dużym i trwałym dorobkiem nauki i chemi przemysłowej.

Drugi wielki łańcuch produkcyjny rozpoczyna się od acetylenu. Okres, w którym acetylen wytwarzano wyłącznie z karbidu, w celu pokrycia małego, raczej technicznego niż chemicznego zapotrzebowania należy do przebrzmiałej przeszłości. Obecnie produkcja acetylenu stanowi wielki i podstawowy przemysł, który 90% sumarycznej produkcji tego gazu oddaje jako surowiec do przeróbki w procesach syntez organicznych. Następujące liczby szacunkowe odzwierciadlają dynamikę produkcyjną acetylenu w świecie: w 1936 r. wytworzono 210 tys. ton gazu; w 1950 r. 880 tys. ton, w 1956 r. 1260 tys. ton [16]. Niezależnie zaś od intensywnego rozwoju produkcji karbidu zrealizowano kilka metod otrzymywania acetylenu z gazu ziemnego (metanu). Metodę półspalania metanu z tlenem stosuje się obecnie do uzyskania acetylenu, w Związku Radzieckim, USA, NRF, we Włoszech, Rumunii, Belgii i w in. krajach. Trzy duże instalacje do konwersji gazu ziemnego uruchomiono w latach 1952—54 w USA. W kołach fachowych ustalona jest opinia, że acetylen uzyskany z surowców petrochemicznych ma być znacznie tańszy niż z karbidu. Z acetylenu wytwarza się obecnie w znacznych ilościach liczne półprodukty i surowce, jak aldehyd octowy i jego pochodne, etanol, butanol, oktanol, różne estry,

---

[14] Lowry H. H., *Chemistry of Coal Utilization*, t. II New York 1945, str. 1834

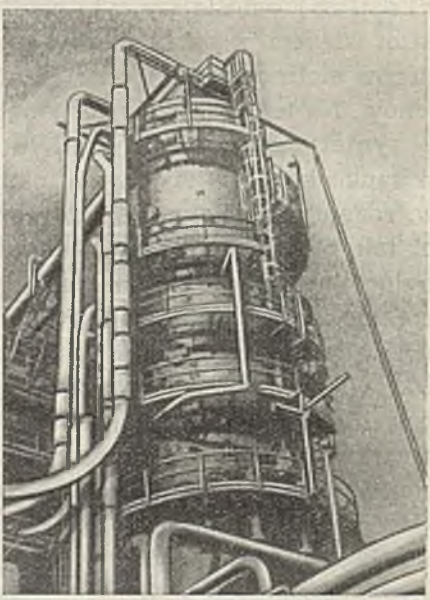
[15] Plaskura W., *Chemik* 9, 310, 344 (1956).

[16] Ładowski Z., *Chemik* 11, (1958), *The Chemical Industry in Europe*, OEEC, Paris 1959, str. 81—84.

butadien, pentaerytryt, związki winylowe, winyloacetylen, etylen i jego pochodne, aceton, czterochloroetan, akrylonitryl itd. Szczególnie duże znaczenie ma butadien, główny surowiec do syntezy kauczuku oraz związki winylowe, zdolne do tworzenia długołańcuchowych polimerów, które służą do produkcji tworzyw sztucznych i włókien syntetycznych.

Trzeci, najnowszy i dziś najdonioślejszy cykl przetwórczy jest złączony bezpośrednio wszystkimi więzami z petrochemią i rozpoczyna się od podstawowych węglowodorów olefinowych, tj. od etylenu, propylenu i trzech izomerycznych butylenów. Na tej podstawie rozwinęła się w bardzo krótkim czasie produkcja syntetycznego etanolu, wielu szczególnie cennych tworzyw sztucznych i kauczuków syntetycznych, paliw ciekłych, wysokogatunkowych smarów, rozpuszczalników, detergentów itd. Ta grupa procesów przetwórczych, tak nierozdzielnie związanych z całą technologią petrochemiczną, zdobyła sobie szczególne znaczenie i uznanie dlatego, że po pierwsze okazała się zdolną do zastępowania wielu innych historycznie wcześniejszych metod, dochodząc do tego samego celu końcowego, zwykle przy zapewnieniu niższych kosztów własnych i znacznie wyższych wydajności; po drugie niektóre pochodne jak tlenek etylenu czy propylen zainicjowały całe łańcuchy reakcji chemicznych o wielkim znaczeniu przemysłowym; po trzecie pewne artykuły rynkowe jak tworzywa polietylenowe i polipropylenowe lub kauczuki butadienowo-nitrylowe albo detergenty okazały się produktami wysoko gatunkowymi i poszukiwanymi. Ogólny rozwój petrochemii był w całym prawie świecie niezwykle dynamiczny, a konsekwencje tego rozwoju były doniosłe. W Europie zachodniej produkcja petrochemiczna wzrosła w dziesięcioleciu 1946—1956 prawie 100-krotnie. Wielkie kombinaty petrochemiczne w Wielkiej Brytanii zbudowane zostały przez I.C.I. w Wilton-Billingham oraz przez Petrochemicals Ltd., Manchester. Do poważnego znaczenia doszły takie angielskie firmy petrochemiczne, jak Esso Petroleum koło Southampton, British Hydrocarbon Chemicals w Grangemouth, Shell Chemicals w Partington i in. Silny rozwój przemysłu petrochemicznego zaznaczył się w ostatnich latach we Francji, we Włoszech (fabryki w Ferrarze, Rawennie, Mantui, koło Wenecji itd.), w Holandii, Belgii, Szwajcarii, Danii, Hiszpanii, Portugalii. Sumaryczne nakłady inwestycyjne na rozwój petrochemi preliminowano w 1959 r. w państwach Europy zachodniej na 1250 mln dol. Pod wpływem rozwoju własnego przemysłu petrochemicznego zatrzymano w 1955 r. w NRF ruch kilkunastu wielkich fabryk uwodornienia paliw stałych i ciekłych, pracujących metodą Bergiusa oraz wytwórni benzyny posługujących się metodą Fischera i Tropscha. Wielki skok w tej dziedzinie rejestrują też Chiny Ludowe. Uruchomiona w 1958 r. wielka rafineria nafty w Lanczou wytwarza kilkadziesiąt podstawowych produktów petrochemicznych, a jej zdolność przetwórcza ma

być w krótkim czasie zwiększona do 5 mln ton ropy rocznie[17]. Najintensywniejsze jednak wysiłki inwestycyjne w tym zakresie prowadzą nadal Stany Zjednoczone i Związek Radziecki, dysponujące wielkimi zasobami ropy naftowej i gazu ziemnego oraz nowoczesnymi instalacjami przemysłowymi.



Urządzenie do krakingu katalitycznego

Trzy, wymienione powyżej grupy metod przetwórczych dały technologii chemicznej taką giętkość w rozwiązywaniu wielkich zagadnień przemysłowych oraz taką zdolność dostosowania się do każdorazowych warunków i potrzeb miejscowych, jakich ani chemia, ani inny dział przetwórczy nigdy dawniej nie posiadał. Tak np. wyrób jednego z najważniejszych półproduktów organicznych, tj. butadienu może posługiwać się acetylenem z karbidu albo acetylenem z gazu ziemnego czy z gazów rafineryjnych lub etanolem fermentacyjnym czy syntetycznym, a samą syntezę butadienu można przeprowadzać różnymi metodami: aldolową, czyli czterostopniową, metodą Reppego, Lebiediewa lub butanową. Analogicznie, na podstawie przeróżnych kombinacji kopolimeryzacyjnych, przy zmienianiu kilku parametrów ruchowych (temperatury, ciśnienia, katalizatorów) uzyskuje się obecnie tworzywa o różnych właściwościach chemicznych, mechanicznych, termoplastycznych albo też przeróżne jakościowo włókna syntetyczne. Reasumując należy stwierdzić, że chyba

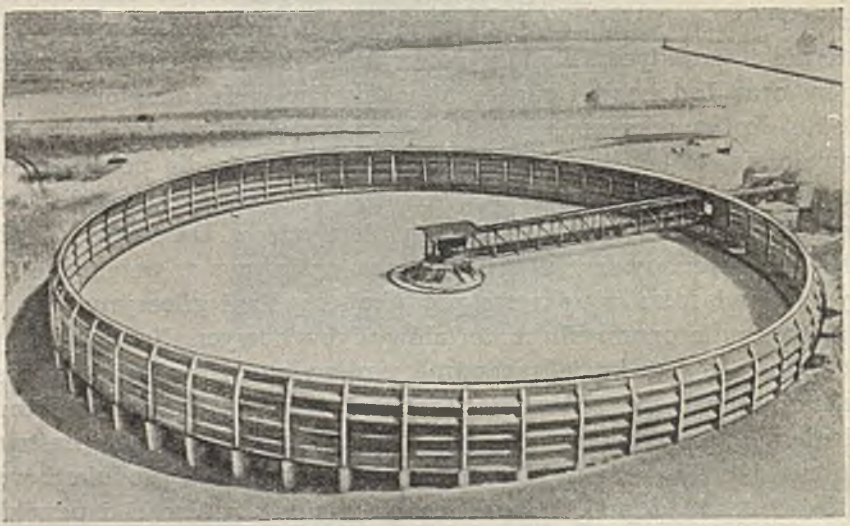
17 Lach A., *Chemik* **13**, 384 (1960)

żaden z nowoczesnych przemysłów przetwórczych nie zdołał wywołać w tak krótkim czasie takiej pełni konsekwencji naukowych, technologicznych i przemysłowych, jak właśnie te trzy zasadnicze motory, uruchamiające setki najbardziej różnorodnych procesów i syntez chemicznych. Osiągnięcia, wyrosłe z tego podglebia, są prawdziwym triumfem nowoczesnej chemii przemysłowej.

Druga wojna światowa nie przeszła oczywiście bez pozostawienia wyraźnego śladu w dziejach chemii stosowanej, chociaż jej oddziaływanie miało odmienny charakter niż wojny poprzedniej. W latach 1919—1939 dokonał się w świecie proces pewnego wyrównania potencjału produkcyjnego w zakresie chemii, przynajmniej wśród głównych partnerów. Również kadry naukowe rozrosły się w tym czasie w wielu krajach świata i były obecnie dobrze przygotowane do samodzielnego rozwiązywania wyłaniających się komplikacji materiałowych. Te komplikacje pojawiły się istotnie i sporadycznie miały groźny charakter. Tak więc z zajęciem Malajów oraz Indonezji i zagrożeniem krajów sąsiednich przez wojska japońskie dostawy kauczuku naturalnego zostały z miejsca przerwane. Wydawało się, że będzie to cios nie do odparowania dla potężnie rozbudowanej produkcji samochodów, traktorów, wozów pancernych i samolotów w USA. Również dowóz nasion oleistych z Dalekiego Wschodu został silnie zredukowany, wywołując pewien kryzys w przemyśle tłuszczowym, a zwłaszcza w zakresie produkcji mydła i gliceryny, tak ważnego surowca dla przemysłu materiałów wybuchowych. Pewną niedogodnością było i to, że kraje zachodnie pozbawione zostały nagle dostaw jedwabiu naturalnego z Japonii. Dla wojujących Niemiec wielkim zagadnieniem było natomiast odcięcie od światowych źródeł naftowych i podobnie jak dla państw alianckich niedostateczność produkcji węglowodorów aromatycznych. Wszystkie wymienione trudności i powikłania wojenne — z punktu widzenia przemysłu chemicznego — miały zupełnie pomyślne, a przede wszystkim trwałe rozwiązania. W USA w rekordowym czasie uruchomiono kilkadziesiąt wytwórni kauczuku syntetycznego, które w końcowym roku wojny dostarczyły ok. 900 tys. ton gumy, co w przybliżeniu odpowiadało światowej produkcji kauczuku naturalnego w 1938 r. Również w Związku Radzieckim rozwinięta została dość znacznie synteza kauczuku. Jest też znamienne, że po wojnie metody syntetyczne nie tylko nie zostały wyparte z praktyki przemysłowej, ale przeciwnie zostały rozwinięte i udoskonalone, a udział kauczuku syntetycznego w pokryciu zapotrzebowania światowego systematycznie wzrasta[18]. Dwa dodatnie skutki zrodziły się na tle trudności w dostawie tłuszczów: zapoczątkowano wówczas produkcję detergentów i równocześnie zrea-

[18] *Chemik*, **10**, 258 (1957). U. N. Statistical Yearbook 1960, str. 232.

lizowano na skalę przemysłową syntezę gliceryny z propylenu. Podobnie brak jedwabiu naturalnego stał się konkretną podnietą do rozwoju produkcji włókien syntetycznych, głównie nylonowych; już w pierwszych latach swego istnienia ten nowy przemysł zdobył silną pozycję rynkową. Trudności w dziedzinie paliw silnikowych i smarów opanowały Niemcy przez położenie ręki na źródłach naftowych Rumunii oraz poprzez zrealizowanie na największą skalę metody Bergiusa uwodorniania paliw stałych i ciekłych oraz metody Fischera i Tropscha. Rozwijająca się zaś petrochemia zabezpieczyła w państwach alianckich pokrycie rosnącego zapotrzebowania na węglowodory aromatyczne. Oto przykłady czynnej roli chemii stosowanej wobec narastających trudności materiałowych w czasie wojny.



Urządzenie do odzyskiwania soli magnezowych z wody morskiej

Na tym samym koncie zapisane są jednak pozycje znacznie poważniejsze. Po raz pierwszy w dziejach świata wojna miała charakter tak krańcowo i tak bezwzględnie „totalny". Toteż zastosowano wszystkie możliwe koncepcje niszczenia i wyczerpywania sił przeciwnika. Gdy wojna przeciągała się, zaczęto szukać sposobów spotęgowania i uwielokrotnienia siły uderzeniowej armii. Do tych wysiłków należy rozwój produkcji metalicznego magnezu, stosowanego do produkcji bomb zapalających. Tak np. w USA w 1939 r. wytworzono zaledwie 3,4 tys. ton tego metalu, ale w 1943 r. produkcja wynosiła już 183 tys. ton. Również Anglicy rozwijali ten przemysł dość intensywnie, przetwarzając sole otrzymywane przez odparowywanie wody morskiej. W tym czasie wytworzono również nowe materiały wybuchowe jak heksogen (nazywany też cyklonitem) bardzo

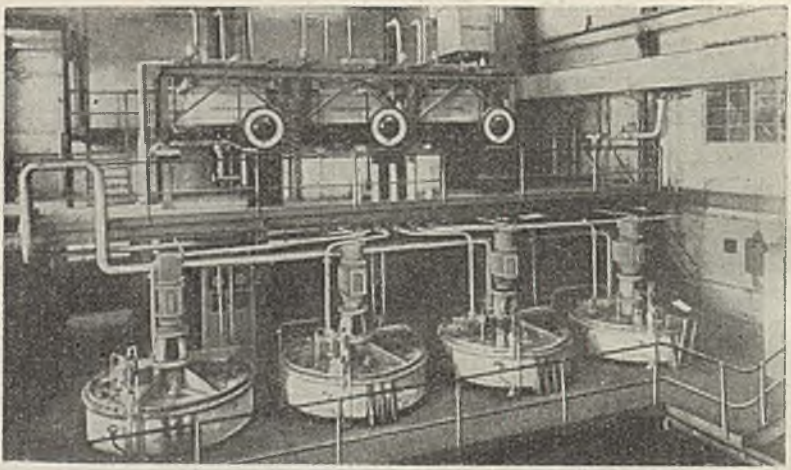
silny środek kruszący, wytwarzany przez nitrowanie urotropiny, lub bezbłyskowy materiał wybuchowy do dział przeciwlotniczych lub okrętowych, stanowiący mieszaninę cyjanoamidku wapnia i nitroguanidyny, z domieszką kordytu. Wszystko to schodzi jednak na plan dalszy wobec wytworzenia i zastosowania broni atomowej, jednego z najpotężniejszych środków już nie zniszczenia, lecz zagłady w promieniu swego działania i zarazem jednego z najznakomitszych odkryć rozumu ludzkiego, które może oddać i częściowo już oddaje nieocenione usługi narodom świata. Zewnętrznym wyrazem tej produkcji mogą być potężne zakłady chemiczne w Hanford w USA, przetwarzające izotopy uranu i wytwarzające ważny materiał rozszczepialny, pluton. Tak oto walka chemiczna z czasów pierwszej wojny światowej przekształciła się po upływie prawie 30 lat w walkę o charakterze fizyko-chemicznym.

W 1945 r. wojna została zakończona, lecz jej skutki w zakresie chemii przemysłowej, z upływem lat potęgują się nadal.

Zupełny przewrót technologiczny i gospodarczy dokonał się w ostatnim czasie w takich dziedzinach, jak tworzywa sztuczne, włókna syntetyczne i kauczuki. Tymi zagadnieniami zajmowano się już w XIX w. realizując na skalę przemysłową produkcję włókna sztucznego z tzw. nitrocelulozy. Na przełomie wieków F. S. Kipping badał nawet możliwości wytwarzania związków krzemoorganicznych.W pierwszym dziesięcioleciu bieżącego wieku zarysował się dalszy postęp: opracowano sposób wytwarzania galalitu (1900 r.), żywic gliptalowych (1901 r.) zapoczątkowano badania nad aminoplastami (1908 r.) i podjęto produkcję pierwszego tworzywa sztucznego, tj. bakelitu, lecz aż do czwartego dziesięciolecia powodzenie tych wysiłków było raczej umiarkowane. Zasadniczy przełom zarówno o charakterze naukowo-badawczym jak i przemysłowym nastąpił w latach trzydziestych. Fundamentalne prace teoretyczne dokonane zostały w tym zakresie przez H. Staudingera i W. H. Carothersa. Między innymi ustalili oni zasadę otwierającą drogi do dalszych badań, głoszącą, że monomery o jednym wiązaniu podwójnym będą formować najczęściej polimery jednokierunkowe, zwane liniowymi, korzystne dla budowy włókna syntetycznego. Natomiast z monomerów o większej liczbie wiązań podwójnych lub z wiązaniami potrójnymi mogą powstawać raczej polimery sieciowe, przestrzennie rozgałęzione; te są podstawą polimeryzacyjnych tworzyw sztucznych. Od 1929 r. następują cenne odkrycia w tej dziedzinie. Carothers otrzymał tworzywo poliamidowe, z którego wywodzi się produkcja włókien nylonowych. W 1931 r. Nieuwland i Carothers wytworzyli winyloacetylen. W pracowniach naukowych I.C.I. podjęto w 1927 r. próby uzyskania z etylenu wysokooktanowego paliwa ciekłego dla lotnictwa; w operacjach tych stosowano wysokie temperatury i bardzo wysokie ciśnienia rzędu 2000 atn. Zamiast paliwa silniko-

wego otrzymano jednak doskonałe tworzywo sztuczne polietylen (politen). W 1937—39 r. A. Treibs i P. Halbig przeprowadzili studia nad polimeryzacją winyloacetylenu. S. C. Suliwan w 1939 r. otrzymał tworzywo krzemoorganiczne, silikon, a P. Kurtz dokonał syntezy akrylonitrylu z acetylenu i cyjanowodoru w roztworze wodnym.

W tych latach pojawiają się również wielkie inwestycje przemysłowe, poświęcone produkcji tworzyw sztucznych. Tak rozwija się coraz silniej wytwórczość tworzyw poliwinylowych, polietylenowych, polistyrenowych, mocznikowych, melaminowych itd., oczywiście obok silnie już ugruntowanych fenoplastów i pochodnych celulozowych. Odtąd rozwój tworzyw sztucznych posuwał się lawinowo naprzód. W 1944 r. cały fenol ze smoły



Oddział kondensacji w wytwórni fenoplastów

pogazowej i dwie trzecie fenolu syntetycznego przetworzyły wytwórnie fenoplastów. Ponadto zaczęto stosować do tego celu pochodne fenolu i fenole wielowodorotlenowe, jak rezorcyna, krezole, ksylenole zmieniając równocześnie metody kondensacji. Najszersze zastosowanie znalazły procesy kopolimeryzacyjne, np. etenoidów z polichlorkiem lub polioctanem winylu, z pochodnymi winylidenu, butadienu lub styrenu z akrylonitrylem. Równocześnie rozwijało się wszechstronnie zastosowanie nowych tworzyw, zwłaszcza gdy okazało się, jak duże są zalety tych materiałów. Przeważnie odznaczają się one dużą odpornością chemiczną, są na ogół doskonałymi izolatorami elektryczności, są lekkie, trwałe, dają się łatwo kształtować i obrabiać, a niektóre z nich są idealnie przezroczyste i dość sprężyste. Znalazły więc szerokie zastosowanie w gospodarstwie domowym, w elektrotechnice, w produkcji filmów, w budowie samochodów, samolotów, stosowane są w szpitalach, w chirurgii, w den-

tystyce, we wszystkich gałęziach przemysłu jako materiał ochronny przed korozją itd. Każdy rodzaj tworzywa ma szczególne właściwości i swoiste zalety.

Na kilka lat przed drugą wojną podjęto w Związku Radzieckim i w USA badania nad polimeryzacją związków krzemo-organicznych. Po wojnie, na podstawie wcześniejszych prac E. G. Rochowa, Gilliama i in. zaczęto wytwarzać na coraz większą skalę silikonowe smary, izolacje, oleje odporne na duże różnice temperatur itp. W Ameryce firma Dow Corning Comp., Midland-Michigan podjęła produkcję silikonów w różnych odmianach, a w Związku Radzieckim Adrianow dokonał ostatnio syntezy wysokowartościowych silikonów, odpornych na działanie odczynników chemicznych a zawierających obok krzemu, atomy takich metali, jak aluminium, nikiel lub kobalt.

Zbiorniki ciśnieniowe na gazy z procesów krakingowych

Bardziej wszechstronny jest postęp technologiczny w zakresie produkcji innych plastomerów. Obok syntezy dwuchlorooktadienu i cyklooktadienu, na dwa osiągnięcia należy zwrócić szczególną uwagę. Idzie tu o odkrycie przez K. Zieglera nowej, bezciśnieniowej metody produkcji polietylenu, stosującej katalizatory metaloorganiczne oraz o podjęcie w 1957 r. przez koncern Montecatini produkcji tworzywa polipropyleno-

wego, odznaczającego się dużą twardością i odpornością na odczynniki chemiczne a posiadającego mały ciężar właściwy i szczególnie wysoką temperaturę mięknienia (160°C).

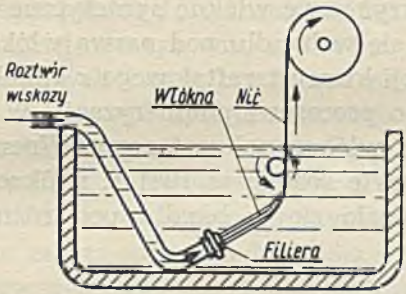
Obecnie te właśnie działy wytwórczości, podobnie jak petrochemia czy synteza związków azotowych stają się czołową pozycją w światowym przemyśle chemicznym. Ewolucję w tym zakresie ilustrują wymownie następujące dane: w 1938 r. światowy przemysł tworzyw sztucznych dostarczył ok. 300 tys. ton wytworów, głównie fenoplastów, w 1947 r. ok. 870 tys. ton jakościowo zróżnicowanych wytworów a w 1958 r. produkcja tworzyw poliwinylowych, polistyrenowych, polietylenów, poliamidów, żywic poliestrowych, fenoplastów itd. sięgała 4400 tys. ton. W samych tylko Stanach Zjednoczonych wartość produkcji tworzyw sztucznych osiągnęła w 1958 r. poważną kwotę 2,3 mld dol.[19]. Plany produkcyjne zaś sięgające perspektywicznie aż po 1965 r. i ogłoszone przez Związek Radziecki, NRF, NRD, Czechosłowację, Węgry, Polskę i wiele innych krajów wskazują na dalsze wzmożenie tempa inwestycji i wytwórczości w tej dziedzinie.

Niemniej głęboki przełom dokonał się w ostatnim ćwierćwieczu w zakresie włókien sztucznych i syntetycznych. Historia technologii chemicznej zapisuje tu jedno z najwspanialszych osiągnięć i zwycięstw. Twórcza myśl ludzka szła uparcie śladami wytyczonymi przez przyrodę i po 50 latach wysiłków i dociekań włókno wytworzone syntetycznie wytrzymuje bez wątpienia wszelkie porównania z najlepszymi i najtrwalszymi włóknami naturalnymi. Zmagania te rozegrały się w kilku fazach. Omówiono już wcześniej założenia technologiczne produkcji przetwarzanego różnymi metodami naturalnego włókna celulozowego; tak powstał pod koniec ubiegłego wieku nowy przemysł jedwabiu sztucznego. Ale aż po rok 1910 praktyczne wyzyskanie tych metod było więcej niż skromne. Światowa produkcja jedwabiu sztucznego nie sięgała w 1900 r. tysiąca ton, a w dziesięć lat później wynosiła 8 tys. ton[20]. W porównaniu z produkcją bawełny, przekraczającą w tym czasie 5 mln ton lub z produkcją wełny sięgającą ok. 1,5 mln ton, a nawet w porównaniu z wytwórczością jedwabiu naturalnego wynoszącą średnio rocznie za lata 1906—1910 ok. 23 tys. ton były to ilości małe. W tym czasie jednak nastąpiła pierwsza korzystna zmiana w produkcji włókna sztucznego. Od 1911 r. wytwórczość jedwabiu sztucznego szybko wzrasta i w 1930 r. zbliża się już do 200 tys. ton. W roku 1932 następuje nowy znamienny fakt: w wykazach statystycznych pojawia się wówczas obok 235 tys. ton produkcji włókna zwykłego, nowa pozycja 8 tys. ton włókna ciętego, umożliwiającego ope-

[19] Pojda J., *Chemik*, 13, 107 (1960).

[20] Clements R., *Modern chemical discoveries*, Routledge and Kegan Paul Ltd., London 1956, str. 212.

rowanie włóknami mieszanymi. Do 1950 r. produkcja włókna zwykłego wzrosła 4-krotnie, a włókna ciętego przeszło 100-krotnie. Ostatecznie w 1957 r. światowa produkcja sztucznego włókna celulozowego zwykłego doszła do 1034 tys. ton, a włókna ciętego do 1421 tys. ton, razem prawie 2,5 mln ton[21]. Można jeszcze nadmienić, że w latach pięćdziesiątych z sumarycznej produkcji jedwabiu sztucznego 87% przypadało na jedwab



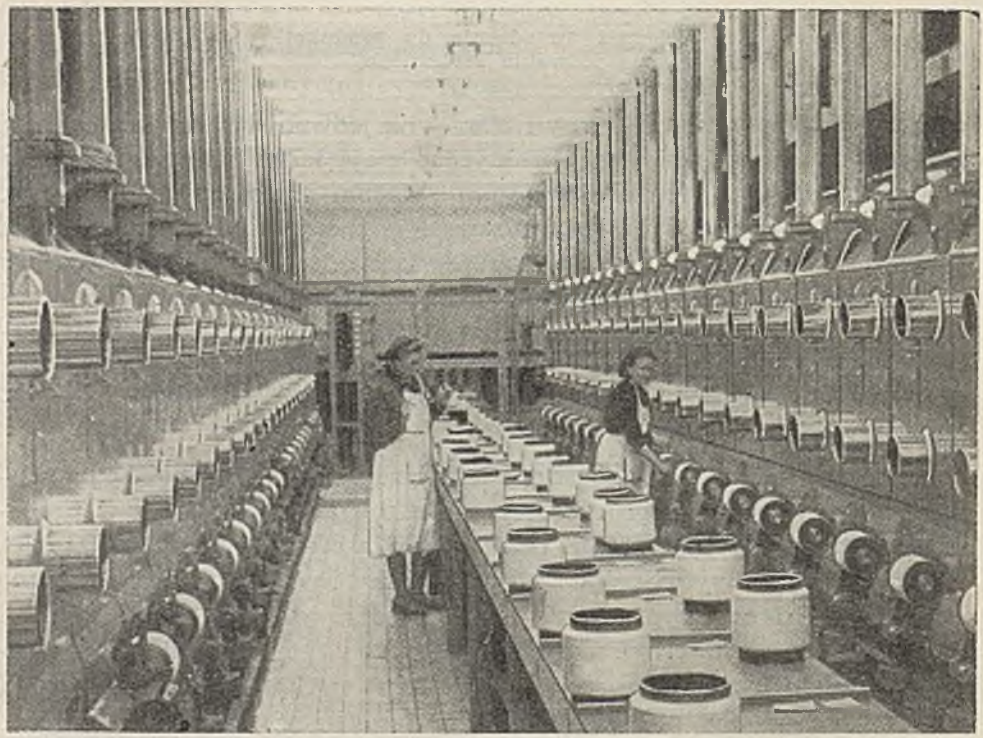
Schemat urządzenia do produkcji jedwabiu sztucznego

wiskozowy, 8% — na octanowy i 5% — na jedwab wytwarzany metodą miedziową. Pewne osiągnięcia praktyczne mają też wysiłki wytworzenia włókna sztucznego, zbliżonego swoim składem chemicznym do wełny. Podstawą tych prac było opatentowanie na początku lat trzydziestych przez Ferrettiego metody produkcji włókna kazeinowego, nazwanego lanitalem. Znaczniejszy rozwój produkcji włókna proteinowego i albuminowego nastąpił w latach czterdziestych. Odtąd zgłoszono wiele nowych wniosków patentowych w tym zakresie, a wielkie firmy angielskie, włoskie i niemieckie wprowadzały do handlu własne wytwory pod różnymi nazwami.

Znacznie poważniejsze zagadnienia wiązały się ze sprawą włókna syntetycznego, wytwarzanego z prostych chemicznie monomerów w procesach polimeryzacyjnych lub polikondensacyjnych. Pierwszym takim włóknem było wytworzone z polichlorku winylu przez E. Huberta w 1931 r., w pracowni I. G. Farben, włókno tzw. igelitowe. Przy próbach realizacji przemysłowej tej koncepcji wyłoniły się trudności technologiczne, które rozwiązał H. Rein w 1934 r., tworząc wysoko schlorowane włókno pod nazwą Pe-Ce, z zawartością 63—65% chloru. W roku następnym I. G. Farben wprowadziło to włókno na rynek. Nieco wcześniej bo w 1928 r., W. H. Carothers, chemik firmy Du Pont de Nemours and Co., Wilmington, podjął prace nad wytworzeniem włókna syn-

[21] *United Nations, Statistical Yearbook*, 1958, str. 199, i nast.; 1960, str. 215, 216.

tetycznego „super-poliamidowego" z kwasu adypinowego i sześciometylenodwuaminy. Po kilku latach CAROTHERS rozwiązał pomyślnie to zagadnienie, a w 1938—39 r. firma Du Pont podjęła produkcję tego włókna, nazwanego nylonem; zdobyło ono wstępnym bojem najwyższe uznanie odbiorców. To samo zadanie podjęła niebawem I. G. Farben, wytwarzając poliamid inną metodą z kaprolaktamu lub jego pochodnych. Produkcję uruchomiono w 1945 r. i produkt nazwano perlonem. W 1939 r. J. B. WHINFIELD odkrył nowe włókno syntetyczne poliestrowe, które po paru latach znalazło się w handlu pod nazwą włókna terylenowego. Był to produkt kondensacji kwasu tereftalowego z glikolem etylenowym, który następnie poddano procesowi polimeryzacji. W tym okresie wytworzone zostały również włókna poliuretanowe. Wreszcie w wyniku badań i prób H. REINA odkryte zostało w 1941 r. włókno poliakrylonitrylowe, które w 1949 r. znalazło się w handlu pod różnymi nazwami (PAN, Orlon).



Fragment fabryki włókna syntetycznego w Polsce

Włókna syntetyczne, wytwarzane obecnie na podstawie różnorodnych koncepcji technologicznych, mają wiele cennych zalet. Odznaczają się one dużą wytrzymałością mechaniczną, z reguły pięknym połyskiem, od-

pornością na wpływy atmosferyczne i odczynniki chemiczne (nylon), są elastyczne i zachowują swój kształt (włókna poliestrowe); produkcja ich nie jest zbyt skomplikowana, a tkaniny wytworzone z tych włókien odpowiadają najwybredniejszym nawet wymaganiom. Chociaż istnieją pewne trudności przy ich barwieniu, to jednak rozwój tej gałęzi przemysłu, w szczególności zaś włókien poliamidowych, poliakrylowych i poliestrowych ma charakter lawinowy. W 1948 r. światowa produkcja włókien syntetycznych wyniosła zaledwie 34 tys. ton. Odtąd co dwa lata podwajała się: w 1950 r. osiągnęła 69 tys. ton, w 1952 r. 128 tys. ton. Tempo rozwojowe zaczęło w dalszych latach przybierać na sile: w 1957 r. produkcja zwiększyła się już do 407 tys. ton, w roku następnym zdolność produkcyjna przekroczyła 600 tys. ton[22]. Wartość produkcji włókien syntetycznych w 1956 r. w USA, w kraju dysponującym nadmiarem bawełny wyniosła ok. 700 mln dol, a w roku następnym wzrosła prawie o 50%. Ponieważ przemysł ten ma za sobą zaledwie kilkanaście lat egzystencji, przeto można przewidywać dalszy i coraz silniejszy wzrost jego dynamiki rozwojowej zarówno w sensie technologicznym, jak i ekonomicznym.

Do tej samej grupy należy jeszcze zaliczyć kauczuki syntetyczne, które w bardzo krótkim czasie utrwaliły swoją egzystencję przemysłową. Aż do wybuchu drugiej wojny światowej tradycyjnym dostawcą tego ważnego surowca były kraje południowo-wschodniej Azji, dysponujące plantacjami kauczuku naturalnego. Zapotrzebowanie przemysłu samochodowego i samolotowego oraz kilku innych na wyroby kauczukowe szybko wzrastało. W okresie ostatniego dwudziestolecia (1939—1959) produkcja kauczuku naturalnego podwoiła się, osiągając zwyż 2 mln ton[23]. W tym samym czasie produkcja kauczuku syntetycznego, przyspieszana początkowo przez wypadki wojenne, wzrosła z 3 tys. ton do 1,8 mln ton, z tym zastrzeżeniem, że statystyką nie zostały objęte ani wszystkie kraje, ani wszystkie tworzywa typu kauczukowego. Tymczasem np. w Związku Radzieckim, nie uwzględnionym w tej statystyce, produkcja kauczuków syntetycznych osiągnęła ilościowo i jakościowo dość wysoki poziom[24]. Szczególnie w ostatnich latach udział kauczuku syntetycznego w pokryciu całkowitego zapotrzebowania wzrósł bardzo silnie w niektórych państwach; tak np. w USA wynosi on obecnie ok. 60% zużycia sumarycznego. Pewne znaczenie zaś — obok masowo wytwarzanych kauczuków butadienowych, butylowych, neoprenowych itp. — zyskują tworzywa pokrewne, jak zsyntetyzowany w 1927 r. przez Patricka tiokol, a zwłaszcza stosowane w lotnictwie wysokogatunkowe

[22] Chemik 13, 424 (1960). U. N. Statistical Yearbook 1960, str. 217.
[23] United Nations, *Statistical Yearbook* 1960, str. 121.
[24] *Chemik*, 10, 258 (1957).

tworzywo typu kauczukowego, uzyskiwane przez kopolimeryzację fluorku winylidenu z sześciofluoropropylenem.

Odrębną grupę technologiczną i przemysłową tworzą syntetyczne leki i produkty farmaceutyczne, które zresztą już w okresie poprzednim stanowiły poważną pozycję. Osiągnięcia najnowszego okresu w tej dziedzinie są wielkim triumfem nauki i chemii syntetycznej.

Jeżeli tak wyraźnie w relacji wszechświatowej przedłużony został średni okres życia ludzkiego, to zjawisko to wiąże się ściśle z faktem dysponowania nowymi i skutecznymi lekami syntetycznymi. Droga ewolucyjna w tej dziedzinie jest zarazem świadectwem ogromnego wkładu twórczej pracy ludzkiej; prowadziła ona od kilkunastu najprostszych preparatów, stosowanych w lecznictwie w połowie ubiegłego wieku, poprzez wytworzenie i przebadanie ogromnej liczby przeróżnych preparatów do wytypowania kilkunastu tysięcy substancji zaklasyfikowanych jako antyseptyki, analgetyki, hipnotyki, antypiretyki, alkaloidy, barbiturany, sulfonoamidy, antybiotyki, witaminy, hormony, leki przeciwmalaryczne, przeciwhistaminowe, przeciwgruźlicze itd., stanowiących dziś potężny zespół środków dyspozycyjnych współczesnego lecznictwa. Już w 1930 r. produkcja leków syntetycznych przewyższała wartościowo produkcję barwników, od której wyprowadza swój chemiczny i przemysłowy rodowód. A przecież wielki rozwój tej produkcji rozpoczął się dopiero po roku 1930. W ramach niniejszej pracy nie można oczywiście zreferować tego potężnego działu chemii w jego rozlicznych aspektach historycznych, naukowych, technologicznych, terapeutycznych i ekonomicznych. Trzeba więc ograniczyć się do chronologicznego zestawienia najważniejszych osiągnięć, aby przynajmniej najogólniej podsumować skutki dokonanego w tych latach postępu.

Już pierwsze 5-lecie omawianego obecnie okresu (1926—1960) zapisuje ważne pozycje w bilansie tego działu chemii stosowanej. Odkryto wówczas nowe i skuteczne leki przeciwmalaryczne, izolowano nowe hormony, zsyntetyzowano heminę, wprowadzono do użytku nowe środki anestezujące (do narkozy), jak cyklopropan, eter winylowy lub etylowinylowy itp. Do najważniejszych osiągnięć należy jednak zaliczyć: odkrycie antybiotyków oraz wyodrębnienie niektórych witamin. W 1929 r. została ogłoszona pierwsza praca A. Fleminga o znaczeniu penicyliny; wzbudziła ona najżywsze zainteresowanie dla sprawy wytwarzania i zastosowania antybiotyków. W 1926 r. zaś kilku badaczy stwierdziło powstawanie witaminy D przy naświetlaniu niektórych produktów spożywczych i równocześnie wyodrębniono w czystej postaci (B. C. P. Jansen i W. F. Donath) witaminę B_1 (aneurynę). W 1928 r. A. Szent-Györgyi wyodrębnił kwas askorbinowy (witaminę C). Odkryto też preparaty prowitaminowe (H. Euler i P. Karrer).

W latach 1931—1935 trwają intensywne badania nad hormonami i coraz liczniej odkrywanymi witaminami. Tak więc A. Windaus identyfikuje wówczas kalciferol jako witaminę D_2; T. Reichstein (1934 r.) przeprowadza syntezę witaminy C; R. Kuhn i P. Karrer dokonali syntezy witaminy B_2 (riboflawiny); G. Domagk, dyrektor doświadczalnego oddziału bakteriologicznego w pracowniach naukowych I. G. Farben, przy współpracy Mietzscha i Klarera, wskazał na lecznicze znaczenie sulfonoamidów i niektórych barwników syntetycznych[25]. Tak powstała nowa i ważna grupa leków, jak prontosil, antystreptyna, sulfatiazol, sulfoguanidyna, błękit metylenowy i w. in. W 1933 r. Bovet wprowadza do terapii środki antyhistaminowe[26]; P. Rabe przeprowadza syntezę hydrochininy, a Tiszczenko i Rudakow realizują w Związku Radzieckim produkcję syntetycznej kamfory.

W następnym pięcioleciu 1936—1940 uwydatniają się szczególnie cztery ważne zagadnienia. Przede wszystkim prace w zakresie badania, wyodrębniania, identyfikowania i syntezy różnych witamin. W tej dziedzinie pracuje liczny zespół wybitnych badaczy, jak P. Karrer, A. Györgyi, V. du Vigneaud, H. Brockmann, R. Kuhn, A. R. Todd, H. Andersag, K. Westphal, H. Dam, G. Wendt i in. Identyfikują oni lub wyodrębniają witaminę PP (amid kwasu nikotynowego), witaminę E (tokoferole) i syntetyzują takie witaminy, jak A, B_1, B_6, D_3, H (biotyna) i K_1. Równocześnie T. Reichstein izoluje szereg hormonów nadnercza. A. Fleming w Edynburgu oraz H. W. Florey i E. Chain w Oxfordzie opracowują szczegółowo sprawę stosowania w terapii substancji zwanych antybiotykami oraz ustalają w 1940 r. chemiczną budowę penicyliny. Wreszcie pomocniczym środkiem do zwalczania epidemii czy infekcji przenoszonych przez insekty stał się odkryty przez P. Müllera (Bazylea) preparat DDT, którego produkcję przemysłową podjęto w 1938 r. a już w 1946 r. doprowadzono ją do 20 tys. ton. W okresie tym można ponadto zanotować wiele innych osiągnięć; do ważniejszych należy odkrycie przez pracowników naukowych zakładów chemicznych w Höchst, Schaumanna i Eisleba w 1939 r. nowego, silnego środka przeciwbólowego, dolantyny, o działaniu zbliżonym do morfiny.

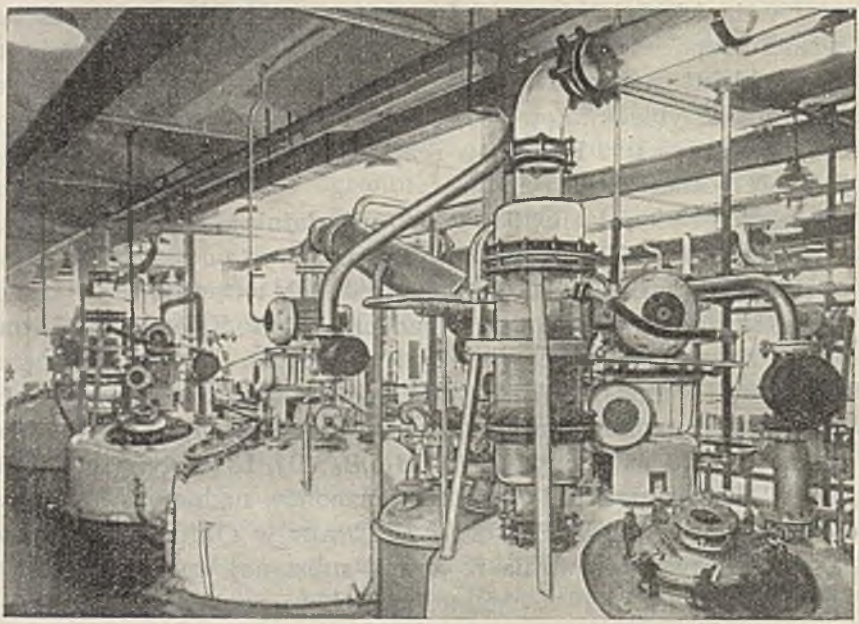
Od 1941 r. mnożą się osiągnięcia szczególnie ważne i doniosłe z punktu widzenia lecznictwa. W 1942 r. następuje wyodrębnienie penicyliny i zastosowanie jej w lecznictwie. W dwa lata później S. A. Waksman i współpracownicy odkryli i wydzielili nowy antybiotyk streptomycynę. W 1947 r. Burckholder wyodrębnia inny antybiotyk, chloromycetynę.

---

[25] Sherwood Taylor F., *A History of Industrial Chemistry*, London 1957, str. 248—249.

[26] Kuczyński L., *Technologia środków leczniczych*, PZWL, Warszawa 1954, str. 440.

W roku następnym B. M. Duggar identyfikuje aureomycynę, a w 1950 r. Finlay wydziela terramycynę. Tak więc w ciągu jednego dziesięciolecia poznano zespół różnych antybiotyków, o selektywnych właściwościach. W walce z groźnymi objawami chorobowymi była to broń potężniejsza niż wszystkie dotychczasowe leki razem wzięte. Ale ewolucja nie zatrzymała się w tym punkcie. Po 1950 r. odkrywa się dalsze nowe antybioty-



Instalacja do produkcji aureomecyny

ki jak rodomycynę, kannamycynę, telomycynę mającą działać w pewnych przypadkach skuteczniej od penicyliny, jak odkryta w 1953 r. przez Umezawę[27] sarkomycyna lub erytromycyna, w 1956 r. albamycyna, w 1958 r. sigmamycyna i kilka innych. Drugą nową i fundamentalnie ważną grupę stanowią leki przeciwgruźlicze. Wysiłki i poszukiwania prowadzone od dziesięcioleci i mające na celu zwalczanie tej wielkiej klęski społecznej, gruźlicy, zostały wreszcie uwieńczone powodzeniem. W 1946 r. wprowadzony został przez Lehmanna do lecznictwa kwas *p*-aminosalicylowy (PAS), działający bakteriostatycznie na prątki gruźlicze; w tym samym roku znalazł zastosowanie conteben, lek z grupy tiosemikarbazonów, odkryty przez Domagka. Wreszcie w 1951 r. wypróbowany został przez Foxa w tym samym celu hydrazyd kwasu izonikotynowego, odznaczający się szczególnie silnym działaniem bakteriostatycznym.

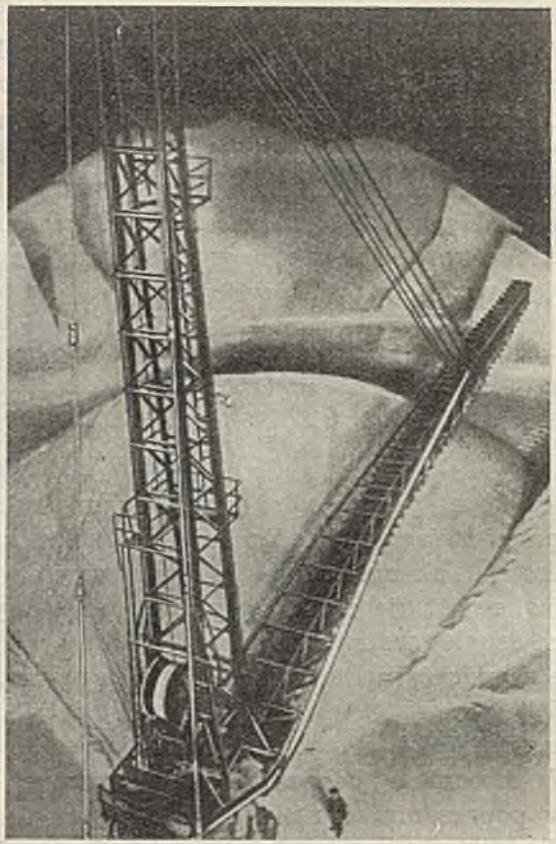
[27] *Wiadomości Chem.*, 14, 561 (1960).

Równolegle przybywają inne ważne osiągnięcia i inne odkrycia. Przeprowadzone zostały dalsze syntezy witamin, wyodrębniono i zsyntetyzowano ważną witaminę B_{12}. G. Ehrhardt wprowadza do lecznictwa nową grupę środków analgetycznych, pochodnych dwufenylometanu; R. B. Woodward i inni badacze wytworzyli nowy, silny lek przeciwreumatyczny, kortizon; w 1951 r. R. Robinson przeprowadził w Oxfordzie pełną syntezę cholesteryny, a nieco wcześniej bo w 1948 r., R. B. Woodward i W. E. Doering, w 90 lat po nieudanych a tak owocnych próbach Perkina, zsyntetyzowali chininę. Nie można wreszcie pominąć, że w grupie hormonów-steroidów w 1953 r. Reichstein odkrył bardzo aktywną substancję, elektrokortynę. Tak można by ten spis ważnych osiągnięć przedłużać prawie dowolnie. Nowości w tej grupie idą w tysiące. Ale istota rzeczy ma charakter nie ilościowy, lecz jakościowy. Polega ona na tym, że wyrugowana została ostatecznie i z tej dziedziny metoda „ślepego" epiryzmu, jej miejsce zaś zajęło świadome tworzenie nowych związków chemicznych, pełniących w organiźmie ludzkim przewidziane i określone funkcje.

Poza tymi pozycjami pierwszoplanowymi dokonywał się nieustanny i wielki wkład pracy twórczej, mnożąc dorobek i znaczenie nowoczesnej chemii przemysłowej. Tak np. produkcja syntetycznych środków piorących, detergentów, rejestruje zawrotny postępy ilościowy i jakościowy. Przed wybuchem drugiej wojny światowej ten dział nie odgrywał jeszcze w przemyśle chemicznym znaczniejszej roli; jego produkcja nie osiągała wówczas 15 tys. ton rocznie. Prawie w 20 lat później produkcja detergentów reprezentując 2,5 mln ton zaliczała się już do grupy wielkich przemysłów. W dziedzinie barwników syntetycznych ewolucja zapoczątkowana w poprzednim okresie, a zmierzająca do upowszechnienia tej produkcji w świecie, umacniała się nadal. Oznaczając stan ilościowy tej wytwórczości w 1913 r. jako równy 100, uzyskuje się następujące wskaźniki na koniec okresu międzywojennego: produkcja niemiecka spada do 35, a np. w USA wzrasta do 1600[28]. Ale i w technologii barwników rejestruje się wciąż nowe zdobycze. Tak np. w 1934 r. R. P. Linstead odkrył nową grupę pięknych i cennych barwników ftalocyjaninowych, z głównym jej przedstawicielem błękitem monastralowym na czele. W kołach fachowych uważano jednak, że w zakresie barwników niebieskich technika farbiarska nie rozporządza ani dostatecznie szeroką skalą odcieni, ani też barwnikami wystarczająco odpornymi na światło i czynniki chemiczne. Z tego punktu widzenia odkrycie w 1950 r. nowych barwników alcyjanowych, (z grupy ftalocyjanin), a zwłaszcza błękitu

[28] Clements R., *Modern Chemical Discoveries*, Routledge and Kegan Paul Ltd., London 1956, str. 167.

alcyjanowego, przez grupę chemików ICI (N. H. Haddock, C. Wood, R. Tornson i in.) poczytuje się za duży sukces.



Nowoczesny magazyn nawozów azotowych (saletry amonowej)

Również w całym, tak wszechstronnie zróżnicowanym, przemyśle nieorganicznym przejawiają się wyraźnie tendencje rozwojowe. Produkcja nawozów sztucznych, sody, kwasów, środków bielących, gazów technicznych, ceramiki, szkła, cementu, metali, pierwiastków rzadkich, katalizatorów itd. notuje coraz wyższe liczby i coraz korzystniejsze współczynniki wydajności. Przybywają wciąż nowe i coraz potężniejsze fabryki, nowe surowce i metody przetwórcze, doskonali się chemiczna kontrola ruchu, upowszechnia się normalizacja jakości produktów, usprawnia się organizacja transportu i zbytu. Ilustracją wzmagającej się dynamiki rozwoju i przewagi metod chemicznych może być przemysł azotowy. Przed 50 laty (w 1910 r.) sumaryczna produkcja związków azotowych wynosiła ok. 600 tys. ton rocznie w przeliczeniu na czysty azot; z tego na produkty

naturalne, głównie na saletrę chilijską przypadało 64%, na siarczan amonowy uzyskiwany ubocznie w procesie koksowniczym — 33%, a na wszystkie inne zaledwie 3%. W 1959—60 r. światową produkcję ocenia się na 11 060 tys. ton czystego azotu, z czego 84,5% przypada na nawozy azotowe, a 15,5% na cele przemysłowe. A więc wzrost produkcji jest w tym czasie prawie 20-krotny. Ważniejsze jeszcze jest to, że 350 fabryk amoniaku syntetycznego czynnych na kuli ziemskiej reprezentuje 81%, a saletra chilijska tylko 4%sumarycznej produkcji światowej.

Wspomniano już o znaczeniu coraz liczniejszych środków owadobójczych, wytwarzanych dziś metodami przemysłowymi. Warto tu przypomnieć o znaczeniu preparatu DDT. W 1939 r. preparatem tym posłużono się z najlepszymi wynikami w Szwajcarii w walce ze stonką ziemniaczaną; w 1943 r. dzięki zastosowaniu DDT można było w ciągu kilku dni zahamować epidemię tyfusu w Neapolu. Powtórzyło się to na Dalekim Wschodzie, w krajach trapionych od wielu generacji malarią, w środkowej Ameryce, w Grecji itd.

Cała twórczość przemysłowa w zakresie chemii jest obecnie związana tak ściśle z nauką, że właściwie zanika już sens podziału na chemię czystą i stosowaną; na tych naukowych podstawach rozwiązuje się obecnie w sposób prosty zagadnienia najbardziej nawet złożone lub poczytywane do niedawna za nierozwiązalne.

W pierwszym wydaniu Encyklopedii Ullmanna[29] stwierdza się z zawodem, że syntezy organiczne na podstawie acetylenu i etylenu „stwarzały przez pewien czas perspektywy na ich przemysłową realizację". Teraz te perspektywy ziściły się w całej rozciągłości. Właśnie w oparciu o metody katalityczne oraz takie surowce, jak acetylen i etylen, wyrosła nagle nowa i potężna dziedzina wiedzy i produkcji: chemia związków wielkocząsteczkowych. Na fundamencie badań naukowych powstała i rozwinęła się również elektrochemia. Tymi metodami uzyskuje się dziś nie tylko miliony ton wodorotlenków alkalicznych, chloru, aluminium czy miedzi, ale również takie metale, jak sód, lit, potas, wapń, tantal, oraz takie produkty, jak karbid, azotniak, fosfor, kwas azotowy, wodór, fluor, korund, karborund, węglik boru, grafit i wiele innych.

Chemia i fizyko-chemia zburzyły tyle zapór istniejących dawniej dla rozumu ludzkiego i otwarły tak szerokie horyzonty dla nowych dociekań, iż trudno uwierzyć, aby to wszystko dokonało się w ciągu życia jednego pokolenia. Twórcza praca fizykochemika może dziś oscylować pomiędzy takimi krańcowościami: od rozbijania — jak się do niedawna wydawało — najmniejszych i niepodzielnych indywiduów chemicznych, tj. atomów

[29] *Enzyklopädie der technische Chemie*, t. I, Urban u. Schwarzenberg, Berlin—Wien 1915, str. 637.

oraz od przebudowywania jednych „pierwiastków" w inne aż do świadomego budowania z małych „cegiełek" chemicznych zwanymi monomerami, skomplikowanych i ogromnych makrocząsteczek, których ciężar cząsteczkowy wyraża się często w setkach tysięcy.

Sprzęgnięty zaś mechanizm chemii technicznej z chemią ogólną i z chemią fizyczną wykazuje tak dynamiczną prężność rozwojową, jaką chyba żadna inna dziedzina przemysłowa nie może się wykazać. Tak np. wartość światowej produkcji chemicznej („ścisła" chemia) nie osiągała pod koniec poprzedniego okresu (1924 r.) kwoty 5 mld dol.; w 1938 r. podwoiła się i odpowiadała 10,8 mld dol. ale już w 1957 r. pozostawiając w tyle niejeden z przodujących dawniej działów produkcji górniczej i przemysłowej, wartość rynkowa wytworów ścisłej chemii zwiększyła się do poziomu 63 mld dol. [30]. Z tym wielkim rozwojem produkcji wiążą się dwa zjawiska o szczególnym znaczeniu. Przede wszystkim więc chemia zaktywizowała gospodarczo najodleglejsze obszary świata. Wiele krajów podjęło lub rozwinęło na wielką skalę produkcję surowców, na których opiera się przemysł chemiczny. Z każdym dziesięcioleciem przybywają nowi, czasem poważni producenci węgla, ropy naftowej, gazu ziemnego, rud manganowych, molibdenowych, chromowych, wolframowych, siarki, boksytu i wielu innych materiałów. Wskazano już na szybki wzrost produkcji i zużycia nawozów sztucznych w świecie. W samej Europie zużycie nawozów azotowych między rokiem 1938-39 i 1958-59 wzrosło trzykrotnie, tj. do 2,7 mln ton azotu. Niemniej jednak udział Europy spadł w tym okresie z 50 na 30%. Tylko w ostatnim dziesięcioleciu produkcja amoniaku syntetycznego wzrosła w Indiach 4-krotnie, w Indonezji 5-krotnie, w Chinach 12-krotnie, w Meksyku 20-krotnie. Bardzo intensywny rozwój przemysłu chemicznego można zarejestrować przede wszystkim w Związku Radzieckim, lecz również w Kanadzie, Japonii, Australii, Nowej Zelandii, Indiach, Indonezji, Meksyku, Brazylii, Argentynie, Chile, Czechosłowacji, Polsce, NRD, Italii, Rumunii, Jugosławii i w wielu innych krajach. Co roku przybywają również nowi inwestorzy w dziedzinie petrochemii, w przemyśle azotowym, fosforowym, tworzyw sztucznych, włókien syntetycznych, elektrolitycznym itd. W ostatnim okresie np. jako producenci cukru, pojawiły się takie kraje, jak Egipt, wyspy Mauritius, Meksyk, Argentyna, Kolumbia, Peru, Venezuela, Unia Południowo-Afrykańska, Turcja, Holandia, Jugosławia, Rumunia i Hiszpania.

Drugim, tak często niedostrzegalnym, zjawiskiem jest wtargnięcie chemii do życia i gospodarstwa domowego współczesnego człowieka. Nie zdaje on sobie sprawy z tego jak często w ciągu każdego dnia korzysta

---

[30] Dresdner Bank, *Die wirtschaftlichen Kräfte der Welt*. Berlin 1930, str. 89, oraz powojenne roczniki firmy MLB Farbwerke w Höchst.

z usług chemii. I oczyszczona woda do picia, i gaz, koks, gazol, cukier i dziesiątki innych produktów spożywczych, papier i atrament, pranie i czyszczenie tkanin, włókno sztuczne i syntetyczne, skóry naturalne i skóry sztuczne, leki, sacharyna, metale, nawozy sztuczne, barwniki i farby drukarskie, paliwa ciekłe, smary, rozliczne urządzenia domowe i niektóre materiały budowlane, części samochodowe, radiowe, telewizyjne, szkło, porcelana, cement, czynniki chłodnicze w lodówkach, mydło i kosmetyki — wszystko to związane jest nierozdzielnie z technologią chemiczną.

Obydwa zjawiska — rozpowszechnienia się przemysłu chemicznego w świecie i najściślejsze związanie się z wymogami życiowymi najszerszych warstw ludzkich — są największym triumfem nowoczesnej chemii przemysłowej.

L. Pasteur wypowiedział przekonanie: „Wierzę głęboko, że narody zjednoczą się nie po to aby niszczyć, ale po to by tworzyć, a przyszłość należeć będzie do tych, którzy zdziałają najwięcej dla poprawy bytu cierpiącej ludzkości".

Jednym z najwydajniejszych motorów, który może współdziałać w realizacji tego szczytnego hasła jest niewątpliwie chemia naukowa i techniczna.

Rozdział X

Powstanie i rozwój chemii atomowej

Zagadnienie istoty materii oraz jej wewnętrznej budowy jest tak dawne, jak dawna jest nauka o przyrodzie; była ona bogata w przenikliwą intuicję myśli, zarazem uboga w nieodparcie stwierdzalne fakty. Nie mając zaś żadnych obiektywnych ograniczeń czy hamulców myśl ta mogła oscylować swobodnie w najszerszych granicach. Szkole Demokryta, propagującej atomową budowę materii przeciwstawia Arystoteles i jego uczniowie koncepcję jednolitości i ciągłości materii, a wyznawcom Anaksymandra, głoszącym tezę o jednym i wspólnym praźródle wszechrzeczy, oponują empedokliści, nie znajdujący żadnego powodu do rezygnowania z wielości i różności podstawowych składników materii. Takie abstrakcyjne dociekania nad prapierwiastkami i ich materialnymi „cegiełkami" — przygasały czasem na okres wielu stuleci, aby następnie zapłonąć żywszym światłem, wskrzesić albo rozwinąć i umocnić jedną z dawnych hipotez i uzgodnić jej interpretację z nowymi faktami gromadzonymi skrzętnie i nieustannie przez naukę. Jednak w rzeczywistości aż do połowy XIX w. nie zostały poznane takie zasadnicze i nowe fakty, które by zmuszały do zrewidowania podstawowych poglądów naukowych w tej sprawie.

Pierwszym takim ustaleniem, które rzuciło zupełnie nowe i jaskrawe światło na zagadnienie budowy materii, było ogłoszenie przez D. Mendelejewa w 1869 r. zasady okresowych zmian własności fizycznych i chemicznych zarówno znanych, jak i jeszcze nieznanych wówczas pierwiastków. Z odkryciem zaś nowych, przewidywanych i opisanych przez Mendelejewa pierwiastków, zapełniających stopniowo wolne miejsca w jego układzie okresowym, tezy Mendelejewa zaczęły stawać się prawem. Sama zasada atomowej budowy materii nie ulegała już w tym czasie wątpliwości. Należało natomiast odpowiedzieć na dwa podstawowe pytania: czym można wyjaśnić widoczne pokrewieństwo niektórych pierwiastków i wynikające stąd zjawisko okresowości oraz jak wygląda wewnętrzna budowa rzekomo nie podzielnego i nie złożonego atomu?

Pewne wątpliwości w tych sprawach istniały od dawna, ale obecnie zyskały znacznie na sile i aktualności. Tak np. już w 1815 r. angielski lekarz PROUT — wbrew powszechnie przyjętym poglądom — głosił tezę, że atomy różnych pierwiastków nie tylko są podzielne, lecz i zbudowane z tej samej pramaterii, za którą poczytywał wodór. Tym tłumaczył też fakt, że ciężary atomowe wielu pierwiastków, jak węgla, azotu, tlenu, sodu stanowią wielokrotności ciężaru atomowego wodoru. Do podobnych wniosków doszedł w kilkadziesiąt lat później W. CROOKES. W dziele *Genesis der Elemente*, wydanym w 1881 r., przyjmuje on istnienie jednego wspólnego prapierwiastka nazwanego, „protylem", którego charakterystyka nie odbiega zasadniczo od pojęcia dzisiejszego „protonu". W ten sposób sprawa budowy materii została ponownie zaktualizowana, a odkryte pod koniec XIX w. zadziwiające fakty spotęgowały ponownie zainteresowania naukowe dla zagadnienia budowy i funkcji atomu. Pierwszym z tej grupy faktów, o dużym znaczeniu naukowym, było odkrycie w promieniach katodowych — tworzących się przy wyładowaniach elektrycznych w silnie rozrzedzonych gazach — strumieni elektronów, które jak wykazał w 1897 r. J. THOMSON, są istotną częścią składową materii. Gdy zaś wkrótce potem odkryte zostały promienie *X* przez ROENTGENA, a przez H. BECQUERELA i małżonków CURIE pierwsze pierwiastki promieniotwórcze, sprawa relacji pomiędzy materią i energią oraz sprawa struktury atomu, ulegającego widocznie pewnym procesom ewolucyjnym, stała się najbardziej czołowym zagadnieniem fizyki i chemii, domagającym się jednoznacznego wyjaśnienia. Odtąd też mimo piętrzących się trudności nauka wyjaśniała krok za krokiem zjawiska atomowe zapisując w historii osiągnięcia, które dopiero w dalszej przyszłości będą należycie rozumiane i ocenione.

Te epokowe badania i wielkie odkrycia dokonywane były przez bardzo liczne zespoły wysokokwalifikowanych pracowników nauki. Za głównych współtwórców fizyki i chemii atomowej, obok już wymienionych, poczytuje się przede wszystkim A. EINSTEINA, E. RUTHERFORDA, F. SODDY'EGO, N. BOHRA, M. PLANCKA, DE BROGLIEGO, H. G. MOSELEYA, A. SOMMERFELDA, W. HEISENBERGA, G. N. LEWISA, J. CHADWICKA, H. C. UREYA, J. D. COCKCROFTA, FR. STRASSMANNA, O. HAHNA, I. CURIE, F. JOLIOTA, E. FERMIEGO, I. LANGMUIRA, P. A. M. DIRACA, L. H. THOMASA, E. SCHRÖDINGERA i in.[1].

Pierwsze sformułowania zadań i celów dla podejmowanych prac nie obejmowały jeszcze zagadnień o znaczeniu bezpośrednio praktycznym. Zmierzały one głównie do zbadania i wyjaśnienia charakteru i kierunku

[1] Wiele szczegółów tych prac podaje: A. PIEKARA, *Elektryczność i budowa materii*, S. Kamiński, Kraków 1948, str. 598 i nast.

rozpadu pierwiastków promieniotwórczych, zbudowania modelu atomu, zezwalającego na zorientowanie się w przemianach chemicznych i energetycznych, do ponownego skontrolowania ciężarów atomowych, a zwłaszcza pewnych odchyleń w układzie okresowym i wreszcie do ustalenia, czy inne czynniki i w jaki sposób mogą wypływać na wyznaczanie miejsca pierwiastków w tablicy MENDELEJEWA.

Jest zrozumiałe, że początkowo różne odkrycia i obserwacje wzajemnie się krzyżowały. Taki stan rzeczy trwał aż do lat trzydziestych; dopiero następnie wyjaśnione zostały stopniowo wszystkie wątpliwości i usunięte zostały te trudności, które zaciemniały i hamowały rozwój fizyki i chemii atomowej.

Badając substancje promieniotwórcze RUTHERFORD i SODDY ogłaszają w 1902-3 r. teorię o samorzutnym rozkładzie tych pierwiastków, połączonym z wydzielaniem cząstek alfa i beta. Przemiany takie mogą być wielostopniowe, prowadząc ostatecznie do wytworzenia substancji o zupełnie odmiennych właściwościach chemicznych i fizycznych, niż substancje pierwotne. Tak przekształca się stopniowo np. uran I o c.at. 238,1 w normalny i nie promieniotwórczy ołów [2]. W 1911 r. RUTHERFORD, którego pracownie w Montrealu, a później w Manchesterze zyskały już światową sławę, na podstawie bardzo wnikliwych i wszechstronnych badań dał dokładniejszą interpretację teorii związanych z budową atomów. Według tego poglądu prawie cała masa atomu o bardzo wielkiej gęstości skupiona jest w jego jądrze naładowanym elektrycznie dodatnio; dookoła jądra rozlokowane są elektrony, będące ładunkami ujemnymi, które równoważą dodatni ładunek jądra. Atom jako całość jest więc elektrycznie obojętny. W tych latach przepracowano szereg innych, pokrewnych zagadnień, a wnioski końcowe nie pozostały bez wyraźnego wpływu na rozwinięcie i skorygowanie teorii RUTHERFORDA. Tak więc H. G. MOSELEY, badając widma pierwiastków naświetlanych promieniami X ustalił tzw. liczby atomowe, wyznaczające miejsca pierwiastków w nowoczesnej tablicy MENDELEJEWA, a zarazem odpowiadające ilości elektronów w atomach poszczególnych pierwiastków. Na tej podstawie wypowiedziano też przypuszczenie, że mogą istnieć różne odmiany pierwiastków o tej samej liczbie atomowej i o różnej masie atomowej. F. SODDY oraz F. W. ASTON, po empirycznym stwierdzeniu istnienia takich odmian najpierw w produktach rozpadu promieniotwórczego, a później wśród wielu innych pierwiastków trwałych, ustalili nazwę tego rodzaju odmian jako izotopów.

Wreszcie jeszcze jeden wybitny uczeń i współpracownik RUTHERFORDA, Niels BOHR, dostosowując model atomu do wymagań teorii kwantów PLANCKA, skonstruował nowy model zwany „dynamicznym", w któ-

[2] CLEMENTS R., *Modern chemical discoveries*, London 1956, str. 21.

rym elektrony na wzór systemu planetarnego krążą dookoła jądra na różnych poziomach. Przeskok elektronu z jednej orbity na drugą powoduje wydzielenie lub pochłonięcie określonej ilości energii w zależności od tego, czy następuje zbliżenie, czy oddalenie elektronów od jądra.

Przy ciągłej, twórczej inicjatywie RUTHERFORDA ustalono, że jądro atomowe może się składać z protonów i neutronów; ładunki elektryczne jądra związane są wyłącznie z protonami, których liczba odpowiada zarówno ilości elektronów, jak i liczbie atomowej. Neutrony zaś są elektrycznie obojętne. Niebawem ustalono też graniczne liczby elektronów, które mogą się znajdować na określonych poziomach energetycznych z tym wyjaśnieniem, że im większy jest ciężar atomowy pierwiastka i im więcej protonów zawiera jądro atomowe, tym liczniejsze są warstwy elektronowe i tym więcej elektronów krąży wokół jądra. Skonstatowano też, że charakter chemiczny każdego z pierwiastków wyznaczają znajdujące się na orbicie zewnętrznej, tzw. elektrony wartościowości, jądro zaś stanowi prawdopodobnie czynnik decydujący o własnościach fizycznych atomu.

Te teorie umożliwiły jednozgodne i konsekwentne wyjaśnienie wielu zjawisk, stwierdzanych często od dawna, lecz różnie rozumianych i komentowanych.

Badania G. N. LEWISA, a następnie i I. LANGMUIRA wskazywały na to, że różne procesy chemiczne uzależnione są od tworzącej się konfiguracji zewnętrznej powłoki elektronowej; tzw. struktury „dubletowe" oraz orbity zewnętrzne ośmioelektronowe, nazwane przez LANGMUIRA oktetami wykazują największą trwałość [3]. Gdy dwa pierwiastki tworzą określony związek chemiczny, elektrony walencyjne ich atomów dążą do takiego rozmieszczenia w przestrzeni, aby powstała trwała konfiguracja elektronowa. Toteż atom posiadający w stosunku do pożądanego układu (oktet, dublet) za dużo lub za mało elektronów oddaje je lub pobiera, formując np. oktet. Takie wiązania nazywają się heteropolarnymi albo jonowymi. Na takiej też podstawie krystalizowała się w 1916 r. teoria KOSSELA, która głosi, że przeniesienie elektronów z jednego atomu na drugi, musi powodować zjawisko obserwowane np. w roztworach elektrolitów tworzenia się kationów i anionów. Atom, który utracił elektron staje się elektrododatnim, a ten który go zyskał — elektroujemnym. Może jednak zachodzić przypadek że atom dzieli się swoimi elektronami z innymi, odmiennymi atomami. Powstaje wówczas typ wspólnego posiadania tych samych elektronów, a wiązanie to określa się jako atomowe, homeopolarne lub kowalencyjne. Jest ono charakterystyczne dla związków organicznych. W oparciu o te teorie ustalono nową interpretację faktu „nie-

[1] CLEMENTS R., *op. cit.*, str. 80—83.

całkowitych" liczb, oznaczających ciężary atomowe. Skoro bowiem jądra atomowe są wielokrotnościami protonów i neutronów, a RUTHERFORD w 1920 r. ustalił właśnie, że jądro atomu wodoru składa się z jednego protonu, to mogłoby wydawać się, że ciężary atomowe innych pierwiastków winny wyrażać się liczbami całkowitymi. Istnieją jednak izotopy pierwiastków, różniące się ilością neutronów w jądrze. Pozostały one przez długi czas nie zauważone, gdyż metodami ściśle chemicznymi nie można oddzielić jednego izotopu od drugiego. W rzeczywistości stanowią one zawsze identyczną substancję, podlegającą tym samym reakcjom chemicznym; tylko ich ciężar atomowy jest nieco inny z powodu różnej zawartości neutronów w jądrze. Wymieszanie zaś kilku izotopów w różnych do tego stosunkach powodować może, że średni ciężar atomowy wyrazi się liczbami ułamkowymi.

Wszystkie te rozważania narzucały inny jeszcze problem, mianowicie przeprowadzenia reakcji jądrowej. Skoro bowiem reakcje chemiczne rozgrywają się na zewnętrznej orbicie elektronowej, to należało oczekiwać doniosłych skutków chemicznych i energetycznych w przypadku dokonania przesunięć i zmian wewnątrz jądra atomowego. Przeprowadzenie takiej operacji przedstawiało jednak w praktyce ogromne trudności. Jądro atomu jest bowiem doskonale izolowane i bronione przed wszelkimi zewnętrznymi wpływami czy atakami. Aby dostać się do niego, trzeba było przebić się przez wielokrotne zasieki elektronowe. Wprawdzie narzucała się myśl bombardowania jąder atomów protonami lub cząsteczkami alfa wyrzucanymi z dużą siłą przez substancje promieniotwórcze, ale nie można zapominać, że ulegają one odchyleniu w pobliżu ujemnie naładowanych elektronów, a następnie są odpychane i hamowane przez dodatnio naładowane jądra atomowe. Neutrony zaś w tym czasie jeszcze nie zostały odkryte. Niemniej jednak pierwsze przełomowe osiągnięcie zapisał w 1919 r. RUTHERFORD. Bombardując cząsteczkami alfa, wysyłanymi przez pierwiastki promieniotwórcze, atomy azotu przeprowadził je częściowo w tlen. Koncepcja wewnętrznej budowy atomu — tak jak ją kreślili RUTHERFORD oraz BOHR — znalazła więc potwierdzenie a zasada niezmienności pierwiastków została ostatecznie obalona. Te próby zostały powtórzone z pozytywnymi wynikami w różnych wariantach i w różnych ośrodkach badawczych. Dopiero jednak od lat trzydziestych rysuje się wyraźny i zasadniczy postęp w tej dziedzinie: z zagadnieniem rozbicia jądra atomowego i wyzwolenia energii jądrowej związały się wówczas pewne cele naukowe i praktyczne i one to stały się nowym i silnym bodźcem do przełomowych odkryć i wielkich osiągnięć praktycznych.

Ten drugi okres prac nad wyzwalaniem energii jądrowej rozpoczyna się wynalazkiem cyklotronu w 1931 r. przez E. O. LAWRENCE'A. Model instalacyjny LAWRENCE'A otworzył drogę do budowy aparatów różnego

rodzaju, nazywanych cyklotronami synchrotronami, betatronami, akceleratorami liniowymi, generatorami Van de Graaffa etc., służącymi do przyspieszania ruchu elektrycznie naładowanych cząstek. Obecnie istnieją bardzo duże instalacje tego typu, jak np. synchrotron protonowy zbudowany ostatnio w Kalifornii, którego rdzeń magnetyczny ma masę 10 tys. ton. W ten sposób możliwości bombardowania jądra atomowego cząstkami materialnymi naładowanymi elektrycznie bardzo się udoskonaliły; niemniej jednak tylko znikome ilości substancji uległy reakcjom atomowym, a ilość energii zużywanej do rozbijania jądra była wielokrotnie większa niż ilość wydzielanej energii atomowej. Wywołanie reakcji typu łańcuchowego przy pomocy istniejących środków nie dało się jeszcze zrealizować.

Rok 1932 ma w historii chemii atomowej znaczenie wyjątkowe. J. D. Cockcroft i Walton dokonali wówczas nowego rozbicia atomu przy użyciu protonów; w ten sposób atomy litu przebudowano w atomy helu. W procesie tym masa uległa zmniejszeniu, a energia wydzieliła się, potwierdzając zasadę głoszoną przez Einsteina o równoważności masy i energii. Prawie równocześnie J. Chadwick dokonał odkrycia neutronów w jądrze atomowym [4]. Wreszcie wielka sensacja naukowa tego roku wiąże się z odkryciem H. C. Ureya. Aż do 1930 r. pomimo szybkiego rozwoju nauki o izotopach panowało powszechnie niewzruszone przeświadczenie, że atom wodoru, którym operowano w tylu podstawowych reakcjach, istnieje tylko w jednej postaci. Tymczasem Urey odkrył izotop wodoru o dwa razy większym ciężarze atomowym, deuter. Uzyskano więc pocisk do atakowania jądra atomowego dwa razy cięższy od protonu. Te odkrycia miały w latach najbliższych nie tylko swój dalszy ciąg, ale również liczne i szczególnie doniosłe następstwa. W konstrukcji atomów odkryto więc dalsze cząstki składowe, jak znalezione w badaniach prowadzonych nad promieniowaniem kosmicznym przez C. D. Andersona dodatnio naładowane pozytrony albo — domniemywane tylko — przez profesora tokijskiego Hideki Yukawa „elektrony ciężkie", nazwane później mezonami itp. Po odkryciu deuteru zaczęto produkować w wytwórni wodoru elektrolitycznego tzw. wodę ciężką stosowaną coraz szerzej do moderowania szybkości ruchu neutronów. Nieco później odkryto dalszy izotop wodoru, trzy razy cięższy od normalnego (tzw. tryt). W 1934 r. małżonkowie Joliot-Curie przeprowadzając rozbicie jądra przy pomocy promieni alfa otrzymali po raz pierwszy sztuczny izotop, na którym zbadali zjawisko tzw. promieniotwórczości indukowanej. Natomiast E. Fermi działając po raz pierwszy na większą skalę nautronami na uran uzyskał syntetycz-

[4] Sherwood Taylor F., *A. History of Industrial Chemistry*, Heinemann, London 1957, str. 360.

nie kilka pierwiastków promieniotwórczych, wydzielających promienie beta. Te doświadczenia stały się punktem zwrotnym w usiłowaniach wyzwalania energii atomowej. W latach ubiegłych przeprowadzono rozliczne próby bombardowania jądra atomowego, np. uranu, cząsteczkami naładowanymi elektrycznie: protonami, cząstkami alfa (jądrami helu), a wreszcie deuteronami. Każda z nich związana jest z dodatnim ładunkiem elektrycznym; przechodząc więc przez pole elektryczne otaczające jądro, musi tracić szybko swoją energię kinetyczną. Aby bombardowanie mogło być skuteczne, tj. docierać do jądra atomu, ruch ich musiał być sztucznie przyspieszany, co komplikowało sprawę, pogarszało bilans energetyczny i zwiększało odsetek „zmarnowanych" pocisków, wyrzucanych poza układ reagujący.

W 1934 r. Fermi i współpracownicy, ogłaszając wyniki swoich badań dotyczących działania neutronów na uran, nie umieli jeszcze wyjaśnić chemizmu tego procesu; z doświadczeń tych wynikało niezbicie, że odkryte przez Chadwicka neutrony są jednak idealnymi pociskami do rozbijania atomów. Nie mając żadnego ładunku elektrycznego mogą one bez trudności i hamowania swego ruchu docierać do wnętrza nawet najcięższych atomów. Stwierdzono też niebawem fakt, że im cięższy jest atom, tym więcej proporcjonalnie zawiera w swoim jądrze neutronów. Np. najlżejszy z izotopów uranu oznaczonego w tablicy pierwiastków liczbą atomową 92 obok 92 protonów zawiera aż 142 neutrony. Ponieważ neutrony nie są w jądrze „umocowane" elektrycznie, przeto można było przyjąć, że szanse wyrzucenia neutronów z jądra będą o wiele większe niż protonów. Całe więc zagadnienie sprowadzało się teraz do pytania, w jaki sposób wytworzy się skoncentrowany strumień pocisków neutronowych do zaatakowania jąder atomów ciężkich?

Ten problem usiłowała rozwiązać grupa Fermiego. Przede wszystkim szło o stwierdzenie, czy zaabsorbowanie neutronu przez jądro uranowe nie spowoduje wysłania nowego neutronu; wówczas reakcja jądrowa po jej zainicjowaniu mogłaby podtrzymywać się samorzutnie dalej. Gdyby zaś — czego nie należało z góry wykluczyć — uderzenie neutronu w jądro miało powodować wysłanie więcej niż jednego neutronu, wówczas reakcja musiałaby wzrastać z dużym przyspieszeniem, aby wreszcie dojść do istotnego wybuchu atomowego.

Pierwsze wyraźne wskazówki praktycznego rozwiązania tego zagadnienia przyszły w latach 1938—1940. Nawiązując do prac Fermiego i korzystając z odkrycia nowych, bardzo aktywnych izotopów i nowych pierwiastków promieniotwórczych O. Hahn i F. Strassmann stwierdzili: po pierwsze że odpychanie się protonów jest nie wiele mniejsze od sił, które utrzymują jądra izotopów pierwiastków ciężkich w całości; po drugie, że atakując jądra atomów takich pierwiastków, jak uran, tor lub protoaktyn

przy użyciu strumieni neutronów można spowodować rozbicie jądra na dwie części o mniej więcej równej masie; po trzecie, że w przypadku doświadczenia Fermiego, po zbombardowaniu uranu neutronami znaleziono w produktach rozpadu promieniotwórczy izotop baru i po czwarte, że przy rozbiciu jądra uranu wywiązują się olbrzymie ilości energii (na 1 g-atom uranu przypada $4{,}6 \cdot 10^{12}$ cal) mianowicie 2,5 do 3,0 milionów razy więcej niż przy spaleniu identycznej ilości węgla, z tym, że z rozbitych jąder wydzielają się nowe, coraz liczniejsze neutrony, które mogą spowodować lawinowy rozwój reakcji.

Na podstawie tych ustaleń wnioskowano, że równowaga panująca w jądrze atomowym pierwiastków ciężkich, a przynajmniej niektórych ich izotopów, jest dość słaba, tak że najmniejsze nawet zakłócenie tej równowagi musi spowodować rozpad takiego jądra. Jeżeli jednak reakcje tego typu tylko wyjątkowo dochodziły do skutku, to przyczyny zasadnicze mogły być tylko dwie: szybkość ruchu neutronów (a więc i ich siła uderzeniowa) była stosunkowo dość słaba, a atakowany materiał nie był najodpowiedniejszy, tj. reagujący dostatecznie silnie na uderzenie neutronów „powolnych". Należy dodać, że obojętne elektrycznie neutrony nie mogły być w swoim ruchu przyspieszane tak łatwo jak protony czy cząsteczki alfa.

Tymczasem równolegle, od końca lat trzydziestych aż do chwili bieżącej dokonywano odkryć wielu nowych pierwiastków i ogromnej ilości nowych izotopów. Prace te były związane najściślej z chemią i fizyką atomową. W literaturze podaje się[5], że na koniec lat czterdziestych wytwarzano w cyklotronach i w innych przyspieszaczach cząstek ok. 370 różnych izotopów promieniotwórczych a zidentyfikowano ponad 900 izotopów naturalnych i sztucznych. Wśród produktów rozszczepienia jednego tylko surowca jądrowego, uranu 235, odnaleziono dotychczas ponad 160 promieniotwórczych izotopów, począwszy od cynku aż do gadolinu. W tym okresie wybitni naukowcy, jak M. Perey, McKenzie, Segrè, Corson, McMillan, Seaborg, Abelson i w. in., odkryli kilkanaście nowych syntetycznych pierwiastków, a w pierwszym rzędzie 11 tzw. transuranowców o liczbie atomowej od 93 do 103.

Z punktu widzenia omawianego tematu najdonioślejsze jednak znaczenie miało odkrycie w 1935 r. przez A. J. Dempstera izotopu uranu 235 oraz wytworzenie przez McMillana i Abelsona w 1940 r. neptunu i plutonu. Na podstawie prac Nielsa Bohra stwierdzono niebawem, że jeden z izotopów uranu zawarty w małych ilościach w zwykłym uranie metalicznym nie nastręcza tych trudności które dotychczas hamowały

[5] Cragg L. H., Graham R. P., *Podstawy nowoczesnej chemii ogólnej*, PWT, Warszawa 1958, str. 654.

szersze, praktyczne wykorzystanie energii jądrowej i chemicznych reakcji atomowych. Tym izotopem jest właśnie odkryty przez Dempstera U 235. Jego atomy ulegały rozbiciu pod uderzeniem neutronów powolnych, tzw. termicznych, poruszających się z prędkością ok. 1000 m/sek. Materiał ten wykazywał jednak jeszcze inne znamienne cechy, które umożliwiały samoczynne podtrzymywanie reakcji jądrowej, podobnie jak samoczynnie może trwać proces spalania się węgla lub benzyny. Mianowicie przy rozbicu jądra U 235 jeden neutron termiczny wyzwala z reguły 1—3 neutronów szybkich, poruszających się z prędkością tysięcy kilometrów na sekundę. Było to więc osiągnięcie zupełnie zasadnicze. Stopniowo w oparciu o prace Seaborga, Kennedy'ego, Lawrence'a oraz Segre'a opanowano cały cykl ważnych przemian materiałowych, a McMillan i Abelson wykazali, że jądro uranu 238 przejmując łatwo z zewnątrz neutron tworzy nowy izotop U 239; jest on szczególnie nietrwały, toteż wydzielając promienie beta, czyli szybkie elektrony, przechodzi w sztuczny pierwiastek neptun. Neptun wydziela również cząsteczki beta i w rezultacie tworzy bardziej trwały pierwiastek pluton 239, którego jądro, podobnie jak izotopu uranu 235, przy zderzeniu się z powolnymi neutronami ulega szybkiemu rozpadowi, któremu towarzyszy wydzielanie energii i nowej ilości neutronów. Jest to substancja silnie promieniotwórcza, która przy emisji cząstek alfa przechodzi w uran 235. Tak więc zostały otwarte dwie niezawodne drogi do przeprowadzenia w reaktorach jądrowych procesów rozbijania jąder atomowych.

Schematyczny bieg tych reakcji ująć można w sposób następujący:

Reakcja I. Jądro U 235 zaatakowane neutronami powolnymi
Wynik: Produkty rozszczepienia + energia + neutrony szybkie.
Reakcja II Jądro U 238 zaatakowane neutronami średnio szybkimi lub szybkimi
Wynik: Faza I — izotop uranu 239; faza II — izotop neptunu 239; faza III — izotop plutonu 239.
Reakcja III. Jądro Pu 239 zaatakowane neutronami powolnymi.
Wynik: Produkty rozszczepienia + wyzwolona energia + neutrony szybkie.
Reakcja IV. Jądro Pu 239, wydzielenie cząstek alfa (jąder helu).
Wynik: Izotop uranu 235.

Tak więc na początku lat czterdziestych dysponowano w zasadzie zarówno metodą uruchamiania strumieni neutronów w celu atakowania w stosach uranowych lub w reaktorach jądrowych atomów pierwiastków ciężkich cząsteczkami o bardzo dużej prędkości (o wielu tysiącach km na sek.), jak i odpowiednimi surowcami rozszczepialnymi.

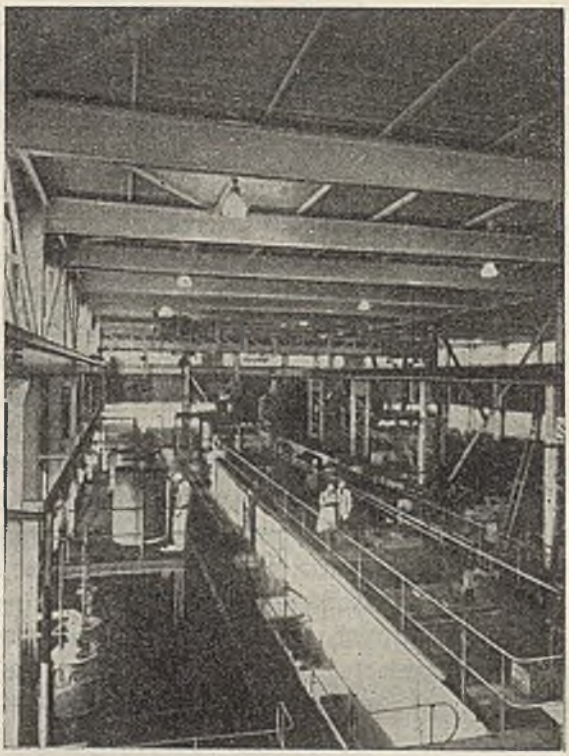
W tym przypadku jednak droga prowadząca od pracowni naukowej do zastosowania technicznego nie była ani łatwa, ani prosta.

Po przygotowaniu odpowiednich surowców pierwszym zadaniem w procesie wyzwalania energii atomowej było wyodrębnienie i oczyszczenie izotopu U 235. Jednak wykonanie tego zadania jest z dwóch powodów bardzo trudne i kosztowne. Po pierwsze należy sobie uświadomić, że w uranie metalicznym znajduje się 140 razy więcej izotopu 238 niż pożądanego U 235; po drugie jak wspomniano już, chemiczne metody rozdzielania izotopów nie prowadzą do celu. Po wielu żmudnych próbach trzeba było w końcu odwołać się do pomocy metod fizycznych, m. in. do ustalonego w pierwszej połowie XIX w. przez T. Grahama prawa, które głosiło, że szybkość dyfuzji gazów jest odwrotnie proporcjonalna do drugiego pierwiastka z liczby wyrażającej jego gęstość. Na tej zasadzie opracowano kilka metod rozdzielania izotopów uranu 238 i 235. Metaliczny uran przetwarza się więc w sześciofluorek uranowy, produkt który w podwyższonej temperaturze jest lotny. Pochodne gazowe obu izotopów różnią się nieco swoim ciężarem właściwym, mianowicie gaz zawierający atomy U 238 jest cięższy. Urządzenia rozdzielcze, stosujące metodę dyfuzyjną, np. w zakładach amerykańskich zbudowanych w czasie wojny w Oak Ridge, w Tennessee lub w brytyjskiej fabryce w Capenhurst, składają się ze specjalnie preparowanych, porowatych przegród o łącznej powierzchni wynoszącej w Oak Ridge kilkaset hektarów. Komory doprowadzające gaz znajdują się pod ciśnieniem, odprowadzające zaś pod próżnią. Cały proces technologiczny jest ciągły i zautomatyzowany. Główne trudności tego procesu polegają na tym, że w temperaturze poniżej 40 °C sześciofluorek zestala się i blokuje przepony, a wielkie urządzenia do wielokrotnych dyfuzji gazów, muszą być bezwzględnie szczelne. W sprawozdaniach przytacza się, że aby uzyskać pochodną U 235 o czystości 99% trzeba przeprowadzić 4000 operacji dyfuzji, a w rezultacie gigantyczne zakłady amerykańskie, według stanu z 1944—1945 r. dostarczały kilkadziesiąt gramów czystego izotopu U 235 na dobę. W innych wytwórniach stosowano również i inne metody rozdzielania obu izotopów, (np. Dickela i Clausiusa — termodyfuzyjną[6], wirówkową albo elektromagnetyczną) wydaje się jednak, że rezultaty ilościowe i jakościowe nie były lepsze niż w przypadku metody dyfuzyjnej.

Również przeróbka rudy lub koncentratów uranowych na uran metaliczny, prowadzona np. na dużą skalę w brytyjskiej przetwórni rud w Springfields, jest dość skomplikowana; opiera się głównie na metodach czysto chemicznych, a nie hutniczych. Już przy operowaniu surową rudą wymagane jest zachowanie pewnej ostrożności, gdyż pył uranowy jest trujący i promieniotwórczy, podobnie jak i gazowy radon. Po usunięciu różnych zanieczyszczeń wytrąca się z roztworu tlenek uranowy

[6] *Naturwiss.* 26, 546 (1938); 27,148, 487 (1939).

wodą utlenioną; tlenek przeprowadza się w azotan uranylu $UO_2(NO_3)_2$ i następnie w dwuuranian amonowy $NH_4 \cdot U_2O_7$. Dopiero od tego momentu stosuje się proces metalurgiczny. Redukcja następuje w piecach elektrycznych w kilku fazach. Proces przerobu rud uranowych ma za sobą dość dawne tradycje. W pierwszych dziesięcioleciach bieżącego wieku



Instalacja do oczyszczania uranu

blendę uranową przetwarzano fabrycznie w celu uzyskania radu. Były to zakłady przemysłowe operujące wielkimi masami surowca, dla uzyskania znikomych ilości drogocennego produktu końcowego. Tak np. Francja w 1913 r. wyprodukowała w trzech wytwórniach łącznie 4,35 g radu, Portugalia w 1918 r. uzyskała ponad 5 g, a USA w 5-letnim okresie 1914—1918 ok. 27 g. Cena 1 g radu sięgała w tym czasie 150 tys. dol. Obecnie głównym celem przeróbki jest sam uran, a produktem ubocznym rad, stosowany w pewnych przypadkach do inicjowania reakcji jądrowych.

Z chemicznego punktu widzenia operacja oddzielania sztucznie wytwarzanego pierwiastka plutonu — głównego materiału rozszczepialnego — jest prostsza i łatwiejsza od rozdzielania izotopów uranu. Pluton

jako odrębny pierwiastek różni się chemicznie od uranu a więc może być wyodrębniony i oczyszczany metodami chemicznymi. Niemniej jednak związane z tym operacje są dość skomplikowane, trudne i niebezpieczne. Przeróbka uranu 238 na pluton prowadzona w reaktorach atomowych jest procesem tak dalece egzotermicznym, że sprawa chłodzenia aparatury stała się poważnym zagadnieniem. Można tu przytoczyć interesującą informację, że wytwórnia plutonu Hanford Pile w USA, uruchomiona wstępnie w 1943 r. zużywa do celów chłodniczych całą ilość wody dużej rzeki (Columbia). W innych wytwórniach zastosowano z dobrym skutkiem chłodzenie powietrzne. Po przereagowaniu uranu atakowanego neutronami, w każdej tonie surowca znajduje się zaledwie kilkadziesiąt gramów plutonu obok wielu innych produktów rozkładu, a w tym i izotopu U 235. Rozdzielenie tych substancji wymaga stosowania szczególnych ostrożności, gdyż jako silnie promieniotwórcze są w wysokim stopniu groźne dla zdrowia i życia ludzkiego.

Na tym jednak nie kończą się jeszcze trudności technologiczne. W zasadzie rozszczepienie jądra uranu 235 lub plutonu jest źródłem strumieni szybkich neutronów, które docierając do jąder atomów ciężkich mogą powodować lawinowy typ rozpadu. Jednakże przy skumulowaniu pewnych zjawisk pociski neutronowe mogą być „zmarnowane" do tego stopnia, że reakcja jądrowa szybko gaśnie. To zmarnowanie neutronów może być wynikiem różnych przyczyn. Neutrony szybkie i średnioszybkie mogą nie tylko łatwo uchodzić na zewnątrz poza strefę materiału rozszczepialnego, lecz ponadto są one w określonych warunkach wychwytywane przez U 238 oraz przez różne zanieczyszczenia materiału. Tak np. bor, znajdujący się z reguły wśród spotykanych zanieczyszczeń jest ogromną przeszkodą dla ruchu neutronów. Toteż usunięcie w granicach chemicznych możliwości takich zanieczyszczeń, jak bor jest zadaniem wielkiej wagi. Neutrony mogą jednak uciekać poza wąski obszar strefy reakcyjnej; toteż wymagana jest pewna minimalna ilość materiału rozszczepialnego zwana „ilością krytyczną'", poniżej której proces masowego rozbijania jąder atomowych nie dochodzi do skutku. Ilość krytyczna ma więc zapewnić możliwie dużą szansę trafienia pociskiem neutronowym w jądro atomu. Dla izotopu U 235 taką krytyczną ilością jest kula o średnicy ok. 10 cm. i masie ok. 14 kg; w zastosowaniu do bomb atomowych ta najmniejsza wymagana ilość uranu 235 odpowiada sile wybuchowej 20 tys. ton trójnitrotoluenu.

Wspomniano już o tym zjawisku, że neutrony szybkie mogą być wychwytywane przez jądra atomowe zwykłego uranu 238 i to tak energicznie, że bieg reakcji atomowej zostanie sparaliżowany. Natomiast neutrony powolne, jak to stwierdzono w praktyce, mogą łatwiej docierać do celu, a ich uderzenie w jądro U 235 lub plutonu jest nawet bardziej sku-

teczne niż uderzenie neutronu szybkiego. Niebawem odkryto substancje zdolne do „moderowania" szybkości neutronów. Do najważniejszych materiałów posiadających te właściwości należą woda ciężka, czysty grafit, kadm oraz bor.

Badając coraz wnikliwiej i coraz bardziej szczegółowo zjawiska jądrowe, które zachodzą samorzutnie we wszechświecie, stwierdzono, że nie tylko przy rozszczepianiu na mniejsze części jąder atomowych pierwiastków ciężkich, ale również i w procesie odwrotnym, zwiększania jądra atomowego pierwiastków lekkich, wyzwalają się olbrzymie ilości energii. Ocenia się, że w tym ostatnim przypadku ilość wyzwolonej energii jest proporcjonalnie 2 tysiące razy większa niż w procesie rozbijania atomów ciężkich. Tak np. głównym źródłem energii słonecznej są przemiany polegające na powstawaniu helu z wodoru. Takie reakcje zachodzą we wnętrzu kuli słonecznej w temperaturze ocenianej na 20 mln °C i pod ciśnieniem ok. 160 mld at. W każdym razie do zapoczątkowania reakcji typu „wodorowego" wymagane jest chwilowe doprowadzenie temperatury do przynajmniej 1,2 mln °C, gdyż dopiero w tych warunkach przemiany jądrowe połączone z samoczynnym wyzwalaniem energii są znaczne. Warunek ten można było spełnić wówczas, gdy opanowano technikę wyzwalania energii atomowej. Bilans energetyczny i materiałowy wskazuje, że synteza atomu helu z 2 protonów i 2 neutronów, czyli z 2 atomów deuteru (przy technicznej budowie bomb wodorowych posługiwano się jednak przede wszystkim trytem) wiąże się z ubytkiem masy i z wydzieleniem wprost ogromnych ilości energii. Teoretycznie na każdy gramoatom utworzonego helu wyzwolona energia odpowiada ok. 800 tys. kWh [7]. Einstein obliczał, że gdyby 1 kg materii został wymieniony całkowicie na energię, to uzyskanoby 25 mld kWh energii.

Wszystkie te odkrycia nadawały wytworzonemu i izolowanemu przez U r e y a deuterowi oraz wodzie ciężkiej szczególne znaczenie. W momencie wybuchu drugiej wojny światowej tylko jedna fabryka na świecie, dysponująca bardzo tanim prądem z elektrowni wodnej, prowadziła na wielką skalę elektrolizę wody w celu uzyskania z jednej strony czystego wodoru gazowego do syntez chemicznych, z drugiej zaś — wody ciężkiej. Była to norweska fabryka związków azotowych w Rjukan, należąca do Towarzystwa Norsk Hydro. W tym czasie bez zwracania uwagi szerokiej opinii publicznej sprawą wykorzystania energii atomowej do celów militarnych zajmowały się już duże zespoły fachowców po obu stronach frontu. Gdy więc stwierdzono przygotowania niemieckie do dokonania najazdu na Norwegię, rząd francuski zakupił od firmy Norsk Hydro cały istniejący zapas wody ciężkiej w ilości 165 l. Cytowany już kilkakrotnie

[7] Clements R., *op. cit.* str. 28.

autor R. Clements [8] pisze w tej sprawie: w obliczu nowego niebezpieczeństwa najazdu tym razem na Francję, Dr Halban i Dr Kowarski wywieźli tę wodę do Anglii. Wówczas Niemcy poleciły fabrykom norweskim w Rjukan, aby podjęły niezwłocznie tę produkcję i doprowadziły ją do 10 tys. funtów wody ciężkiej rocznie. Norwegowie jednak zniszczyli tę część fabryki i nie dostarczyli Niemcom wody ciężkiej.

Trzeba jednak ogólnie stwierdzić, że od chwili wybuchu wojny ilość informacji naukowych i technicznych w zakresie tematyki nuklearnej stała się niestety odwrotnie proporcjonalna do nieustannie rosnącej ilości pracy twórczej i do wielkości osiągnięć, najpierw o charakterze militarnym, a następnie również techniczno-gospodarczym. Tylko konkretne i powszechnie dostrzegalne, rzadko komentowane fakty docierały do świadomości społeczeństw i były świadectwem dokonującego się w zawrotnym tempie rozwoju i postępu chemii jądrowej.

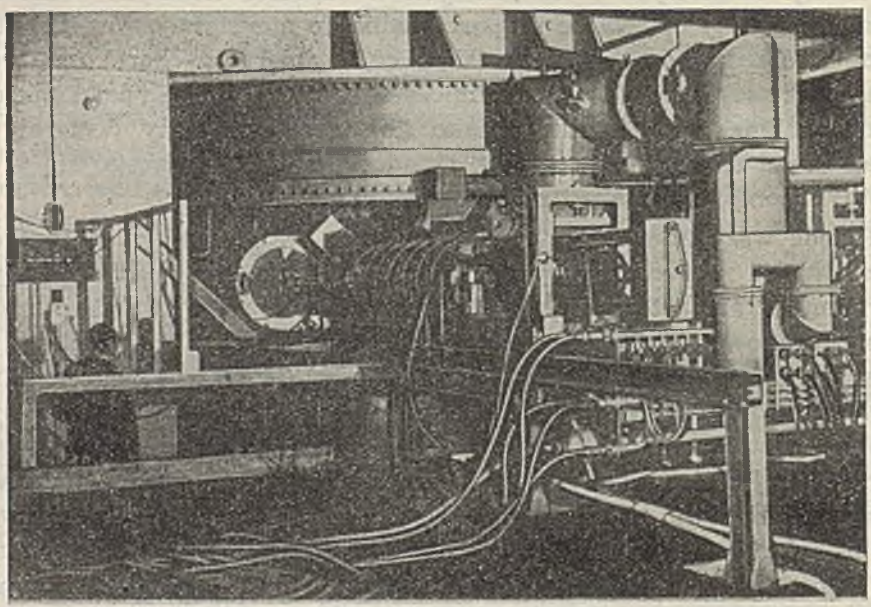
Przede wszystkim więc w wielu krajach świata podjęto gorączkowe poszukiwania za podstawowymi surowcami materiałów rozszczepialnych, tj. rudami uranu i toru. Słynne na początku bieżącego stulecia kopalnie blendy uranowej w Jachimowie w Czechach nie mogły ani ilościowo, ani przez usytuowanie geograficzne zaspokoić gwałtownie rosnącego zapotrzebowania. W kilku punktach kuli ziemskiej, w Kanadzie, w Stanach Zjednoczonych, w Kongo (dawnej kolonii belgijskiej) znaleziono nowe zasoby uranu i podjęto ich eksploatację. Bezpośrednio przed drugą wojną światową produkcja rud uranowych w przeliczeniu na czysty metal używany do produkcji stopów specjalnych wahała się ok. tysiąca ton rocznie. Od tego momentu podjęto energicznie rozbudowę istniejących kopalni rud, a równocześnie zakładano kopalnie w nowych okręgach. Kolejno odkrywano złoża w Afryce południowej, w Australii, w Brazylii, po wojnie również w Związku Radzieckim a zwłaszcza w środkowej Syberii, pomiędzy Jenisejem i Leną oraz na Kamczatce. Dość duże zasoby toru odkryto w tych latach na Cejlonie, w Indiach, Brazylii, Indonezji, Australii i w okręgu uralskim ZSRR.

Ilość wydobywanych rud uranowych przelicza się najczęściej na tlenek U_3O_8 z tym, że 1 tona tlenku odpowiada ok. 760 kg metalu. Według sprawozdań za 1957 r. produkcja tlenku wyniosła w Kanadzie ok. 16 tys. ton, w USA ok. 15 tys. ton, w Unii Południowo-Afrykańskiej 6 tys. ton, a w Kongo i w Australii po 1 tys. ton [9]. Suma tych liczb na pewno nie reprezentuje całkowitej produkcji światowej. Inne jednak źródła ustalają światową produkcję tlenku w 1958 r. na 33 tys. ton (bez Związku Radzieckiego). Cena za 1 funt U_3O_8 wynosiła w 1957 r. ok. 10 dol. a za 1 kg

[8] *op. cit.*, str. 39.

[9] *Chemik*, **10**, 154 (1957); **13**, 180 (1959).

metalu płacono 40 dol. W 1955 r. oceniano, że zasoby znajdujące się w dotychczas odkrytych złożach uranu reprezentują 25 mln ton czystego metalu; zasoby te według obecnego stanu rzeczy — starczyłyby na zaspokojenie potrzeb energetycznych całego świata na ok. 5 tys. lat. Można jednak przypuszczać, że i w tym przypadku powtórzy się historia z ustaleniem światowych zapasów np. ropy naftowej czy węgla kamiennego, które trzeba było z upływem lat systematycznie zwiększać.



Fragment cyklotronu w Instytucie Badawczym w Harwell w 1949 r.

Do technicznego wytwarzania energii atomowej stosuje się współcześnie jako bezpośrednie surowce izotop uranu 235, pochodną uranu 238, tj. pluton, a wreszcie sztuczny izotop uranu 233. Ten ostatni powstaje przy bombardowaniu toru neutronami pochodzącymi z rozbicia jądra uranowego. Schematyczny bieg tych reakcji jest następujący: z toru 232 po dołączeniu neutronu powstaje izotop Th 233, który wydzielając cząsteczki beta przechodzi szybko w protoaktyn, a ten w U 233.

Tendencja rozbudowy instalacji typu przemysłowego, służących do przerobu surowców, wytwarzania półproduktów rozszczepialnych i do wyzwalania energii atomowej ogarnęła obecnie cały świat. Stworzenie i uruchomienie w czasie wojny wielkich zakładów przetwórczych w USA i w Wielkiej Brytanii pochłonęło ponad dwa mld dol. Pod naukowym patronatem uniwersytetu uruchomiono w Chicago pierwszy reaktor atomowy 2.XII.1942 r. W latach 1943—1944 uruchomione zostały w USA

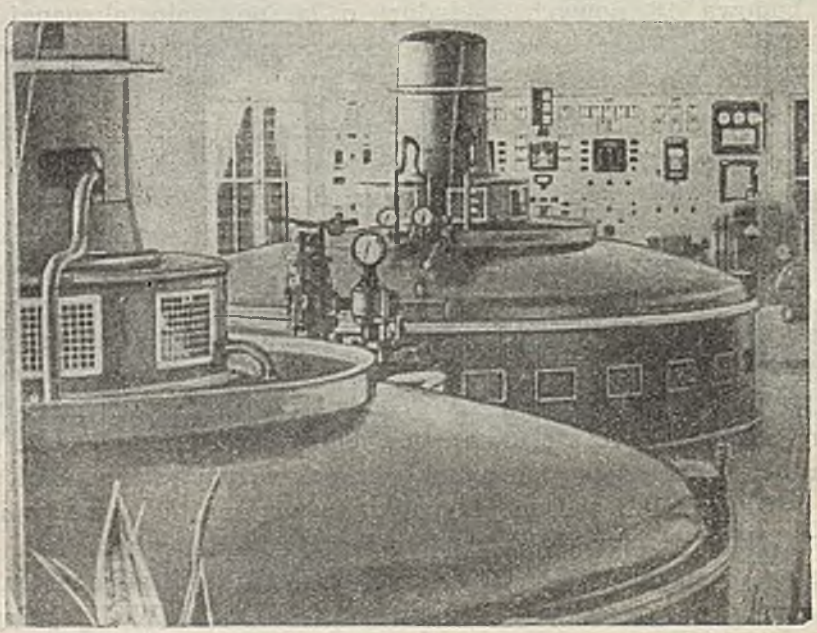
zakłady fabryczne, których zadaniem było dostarczanie dla wojska izotopu U 235 oraz plutonu do produkcji broni atomowej. Wielkie zakłady Hanford Engineering Plant zostały ponadto wyposażone w urządzenia do wytwarzania najcięższego ze znanych izotopów wodoru tj. trytu.

Według opublikowanych informacji w Stanach Zjednoczonych były w ruchu w 1958 r. dwie elektrownie atomowe; (ponadto sześć zakładów znajdowało się w budowie i sześć dalszych w fazie planowania)[10]. Niektóre z elektrowni uruchomione zostały w okresie 1960—61 r., a w tym kombinowana elektrownia konwencjonalna i atomowa w Indian Port nad Hudsonem, której oddział atomowy będzie wytwarzać 150 MW (moc zainstalowana); zadaniem tej elektrowni jest dostawa prądu do Nowego Jorku. Plany na najbliższą przyszłość są duże; do 1962 r. ma być rozpoczęta budowa 18 nowych zakładów o łącznej zainstalowanej mocy 1000 MW, a do 1975 r. zainstalowana moc wszystkich elektrowni atomowych w USA ma wzrosnąć do 8000 MW.

Od chwili uruchomienia w dniu 27 czerwca 1955 r. pierwszej na świecie elektrowni atomowej o zainstalowanej mocy 5 MW w Związku Radzieckim, pracującej dla potrzeb gospodarczych i pokojowych, opory i wątpliwości w sprawie inwestycji „atomowych" zostały przełamane. Przez pewien czas rozważano bowiem głęboko i analizowano szczegółowo czy i o ile koszt własny prądu w wytwórni atomowej musi być wyższy od kosztów w konwencjonalnej elektrowni termicznej. Stopniowo jednak ugruntowało się przekonanie, że współczynniki wydajności w elektrowniach jądrowych poprawiają się systematycznie i szybko, że korzyści uboczne stosowania reaktorów atomowych są bardzo duże oraz że postulat postępu technicznego nie może być lekceważony, a trudności wszelkiego rodzaju będą i w tym przypadku rozwiązane tak samo pomyślnie jak tylokrotnie w przeszłości w wielu innych dziedzinach techniki i gospodarstwa. Toteż istotnie od 1955 r. rozbudowa siłowni atomowych przyspiesza się z roku na rok w całym świecie. Tak np. w Wielkiej Brytanii, strzegącej usilnie swojej przodującej w Europie zachodniej pozycji w dziedzinie wyzyskania energii jądrowej, było w budowie na początku 1960 r. 8 nowych elektrowni atomowych. Na podstawie opracowanych i już częściowo realizowanych planów przewiduje się tam na 1965 r. doprowadzenie zainstalowanej mocy elektrowni typu atomowego do 5—6 tys. MW; na początku zaś lat siedemdziesiątych ok. 50% sumarycznego zapotrzebowania Wielkiej Brytanii na energię elektryczną ma być już pokrywane przez wytwórnie jądrowe. W NRF nastawionej częściowo na technologiczną przeróbkę toru buduje się pospiesznie 6 reaktorów atomowych,

[10] *Chemik*, 13, 163 (1960).

a moc zainstalowana wszystkich siłowni tego typu ma osiągać w 1965 r. 500 MW. Rozbudowę elektrowni atomowych prowadzą obecnie nie tylko wielkie i bogate mocarstwa jak USA, Związek Radziecki, Wielka Brytania i Francja, ale również i mniejsze państwa europejskie i pozaeuropejskie. Np. w Belgii zainstalowano kilka próbnych reaktorów atomowych, a nad dalszą planową akcją rozwojową czuwa Centre d'Etudes pour les Applications de l'Energie Nucleaire. Podobne instytucje i organizacje funkcjonują w Holandii, Szwecji, Norwegii itd. Nawet północna Irlandia buduje własną siłownię atomową o mocy 150 MW. Różne zagadnienia związane z tą problematyką reguluje się coraz częściej na drodze ustawodawczej, a sprawą koordynowania wysiłków i osiągnięć w tej dziedzinie zajmują się różne instytucje międzynarodowe.



Fragment elektrowni atomowej

Gdy tylko otwarte zostały pierwsze perspektywy naukowe techniki jądrowej, czynniki kierownicze narodów i państw, a zwłaszcza największych i najzasobniejszych, zrozumiały natychmiast, że oto wyrasta nowa i przemożna siła kształtująca, która będzie zmieniała systematycznie tendencje ustrojowe i rozwojowe w świecie, a doraźnie może zadecydować o losach tej wojny, która ogarnęła wszystkie kontynenty i prawie całą ludność kuli ziemskiej. Toteż znalazły się natychmiast niezbędne środki materialne na przyspieszenie rozwiązań praktycznych w tej, tak specjalnej dziedzinie. Tocząca się wojna spaczyła jednak obraz tego naj-

większego zwycięstwa rozumu ludzkiego nad naturą i jednego z najdonioślejszych osiągnięć naukowych; nadała mu piętno siły destrukcyjnej o nieznanej dotychczas mocy i skuteczności. Wojna okryła tajemnicą wszystkie aspekty naukowe, wszelkie możliwości techniczne i gospodarcze, różne, a tak pozytywne konsekwencje wtórne i wyolbrzymiła znaczenie wstrząsających a niemożliwych do zatajenia faktów. Pył promieniotwórczy powstający przy wybuchu bomby atomowej przysłonił wszystkie wartości związane z możliwością operowania nową postacią energii dla celów pokojowych i zadań twórczych.

Należy jednak stwierdzać, że to co zostało osiągnięte w pracowniach naukowych w ciągu trzech lat pracy, przeszło wszelkie wyobrażenia i oczekiwania. Pod koniec 1942 r. zademonstrowano w USA po raz pierwszy reakcje rozpadu jądrowego. Od tej chwili trwały gorączkowe prace nad przygotowaniem izotopu uranu 235 w nieco większych ilościach. Dnia 16 lipca 1945 r. przeprowadzono na obszarach pustynnych Nowego Meksyku pierwszy próbny wybuch bomby atomowej. Firma Eastman Kodak stwierdziła w tym dniu, że wszystkie opakowane i gotowe do wysyłki filmy fotograficzne w wytwórni położonej w odległości 2000 km od miejsca próbnego wybuchu były uszkodzone podobnie jak pod działaniem promieni Roentgena lub substancji promieniotwórczych. Ustalono też, że przy wybuchu atomowym temperatura zwiększa się chwilowo do ok. 20 mln °C i równocześnie wydzielają się w dużych ilościach promienie gamma, groźne dla istot żywych. W trzy tygodnie później, dnia 6 sierpnia 1945 r., podano do wiadomości fakt, że tego dnia spadła na Hiroszimę bomba atomowa. Skutki były druzgocące; wojna została zakończona. W parę lat później dnia 1.X.1952 r. została wypróbowana na Pacyfiku pierwsza amerykańska bomba wodorowa, 2 tysiące razy silniejsza od bomby atomowej podobnej wielkości.

Te fakty są historyczną i nieodwracalną rzeczywistością. Ale nauka wskazuje dobitnie i nieustannie, jak bezcenne korzyści może dać ludzkości wyzyskanie energii jądrowej do celów twórczych i pokojowych i chociaż wyniki w tych dziedzinach na pewno nie przekroczyły fazy początkowej, fazy raczej dynamicznej niż statycznej, to jednak już dziś można wpisać sporo poważnych pozycji aktywnych do tego rachunku.

Wśród tych pozycji czołowe miejsce zajmuje sprawa przetwarzania energii jądrowej w energię elektryczną. W reakcjach atomowych każda tona uranu 235, lub plutonu czy uranu 233 dostarcza równoważną ilość ciepła tej ilości, która wydzieli się przy spalaniu 3 mln ton dobrego węgla kamiennego. Gdyby całe współczesne zapotrzebowanie świata na prąd elektryczny miało być pokryte wyłącznie na przez rozszczepianie jąder atomowych, to dobowe zapotrzebowanie odpowiedniego surowca nie przekraczałoby 100 kg izotopu uranu 235. Atomowe łodzie podwodne czy

lodołamacze zużywają na przepłynięcie 50—60 tys. mil morskich nie więcej niż 4—5 kg U 235; gdyby jednak maszyny i kotłownie opalane były olejem naftowym, to takie jednostki pływające, wykonując identyczne zadania, musiałyby zużywać po 10 tys. ton paliwa. Jeżeli nawet wyłaniają się obecnie pewne obiektywne trudności w szerokim rozpowszechnieniu energii pochodzenia atomowego, to nie przesądza to ostatecznie sprawy na przyszłość. Takimi przeszkodami są jeszcze: wielkie wymiary reaktorów atomowych o grubych ścianach izolujących, wielkość jednostek przetwórczych i mała elastyczność w obciążaniu reaktora, niebezpieczeństwo groźnego promieniowania, a wreszcie bardzo duży koszt wydzielania czystego izotopu U 235. Te powody uniemożliwiają na razie np. budowanie samochodów o napędzie atomowym, chociaż ilość niezbędnego zapasu paliwa do przebycia drogi 100 tys. km wyrażałoby się tylko w gramach.

Wytwórnia plutonu w Sellafield, filtry pochłaniające ślady substancji promieniotwórczych

Trzeba jednak stwierdzić, że wysiłki i prace podejmowane przez szybko rosnące kadry fachowców „atomowych" w kierunku usprawnienia różnorodnych zastosowań energii jądrowej i materiałów rozszczepialnych są celowe i owocne. W rezultacie współczynniki wyzyskania surowców jądrowych przy przetwarzaniu ich w energię elektryczną stale i poważ-

nie wzrastają, a łącznie z tym ulegają obniżce i koszty własne prądu. Najnowsze stosy atomowe przetwarzają wyłącznie pluton albo izotop U 235; są więc mniejsze i lżejsze niż typy dawniejsze, w których stosowano również jako surowiec rozszczepialny tlenek uranu. Jak o tym świadczą instalacje na atomowych łodziach podwodnych niebezpieczeństwo promieniowania na zewnątrz zostało przynajmniej częściowo opanowane, bez konieczności budowania potężnych osłon izolacyjnych.

Również rozmaite izotopy — w pewnym sensie produkty uboczne w procesach jądrowych — doszły ostatnio do ogromnego znaczenia w nauce, technice, lecznictwie, a nawet w zakresie analizy chemicznej. Poprzez reakcje rozgrywające się w cyklotronach i reaktorach atomowych materiały te udostępnione zostały po 1946 r. w najszerszej mierze, a liczba znanych i stosowanych w praktyce izotopów jest bardzo duża. Tak np. znanych jest obecnie 7 izotopów azotu, 8 potasu, 10 kobaltu, 11 niklu, 12 neptunu, 14 uranu, 16 strontu, 20 bizmutu, 22 antymonu, 25 ksenonu itd. We wrześniu 1958 r. na międzynarodowej konferencji atomowej w Genewie poinformowano, że przemysły w Związku Radzieckim i w USA, a zapewne i w innych krajach, osiągają dość poważne korzyści posługując się izotopami w różnych procesach technicznych. Tak np. przy użyciu izotopów promieniotwórczych oraz tzw. atomów znaczonych kontroluje się obecnie wiele reakcji z precyzyjną dokładnością. Z jednej strony chodzi tu o naukowe badania mechaniki wewnętrznej takich reakcji, jak katalityczne krakowanie produktów naftowych, działanie siarki w procesach wulkanizacji kauczuków lub jak dyfuzja węgla do żelaza itp. a z drugiej strony zaś — o dane ściśle technologiczne. Tak więc gdy powstaje konieczność przetłaczania na duże odległości tym samym rurociągiem różnych gatunków ropy naftowej ,wymagających stosowania odmiennych metod przetwórczych, do nowej partii ropy wprowadza się małą dawkę promieniotwórczego trójchlorku antymonu; samoczynne aparaty sygnalizują pojawienie się nowej ropy w odbieralnikach. Takich przykładów z praktyki ruchowej można przytoczyć bardzo wiele [11]. Również w analizie chemicznej izotopy znajdują coraz szersze zastosowanie; w ten sposób określa się np. stopień dokładności wytrącenia osadu z roztworu.

Bardzo interesujące zastosowanie znalazły izotopy w lecznictwie, stając się w ciągu krótkiego czasu czynnikiem wprost niezastąpionym. Jest rzeczą znamienną, że przy wprowadzaniu do organizmu w postaci zastrzyków lub doustnie pewnych substancji chemicznych, stwierdza się często ich stężenie w określonych organach: umożliwia to np. atakowanie schorzenia takimi preparatami bez ujemnych konsekwencji dla tkanek zdro-

11 Bańkowski Z., *Chemik* 9, 35 (1956).

wych. Zjawisko to jest użyteczne również przy leczeniu izotopami. Tak np. izotop jodu 132 gromadzi się głównie w tarczycy, promieniotwórczy izotop fosforu (zwykle w postaci o-fosforanu dwusodowego) lokalizuje się w nowotworach i w szpiku kostnym, kobalt w wątrobie itd. I w tej dziedzinie przejawiają się ostatnio nowe tendencje racjonalizacyjne. Gdy idzie o wykrycie lokalizacji oraz o leczenie niedomagań patologicznych korzystne jest stosowanie izotopów promieniotwórczych o krótkim okresie półtrwania. Tak np. badając nadczynność tarczycy wprowadzano dawniej do organizmu izotop jodu 131, którego okres trwania wynosi 8 dni; obecnie zastępuje się go izotopem J 132, którego promieniowanie (o określonym natężeniu) oblicza się na dwie godziny. W lecznictwie nowotworów już od 1904 r. stosowano szeroko sole radu. W czasach nowszych posługiwano w tym celu bombą kobaltową zawierającą promieniotwórczy izotop kobaltu ($^{60}_{27}$ Co), uzyskiwany przez naświetlanie kobaltu w reaktorze atomowym. Ostatnio, znacznie lżejsza i mniejsza bomba cezowa daje wyniki niemniej korzystne niż bomba kobaltowa.

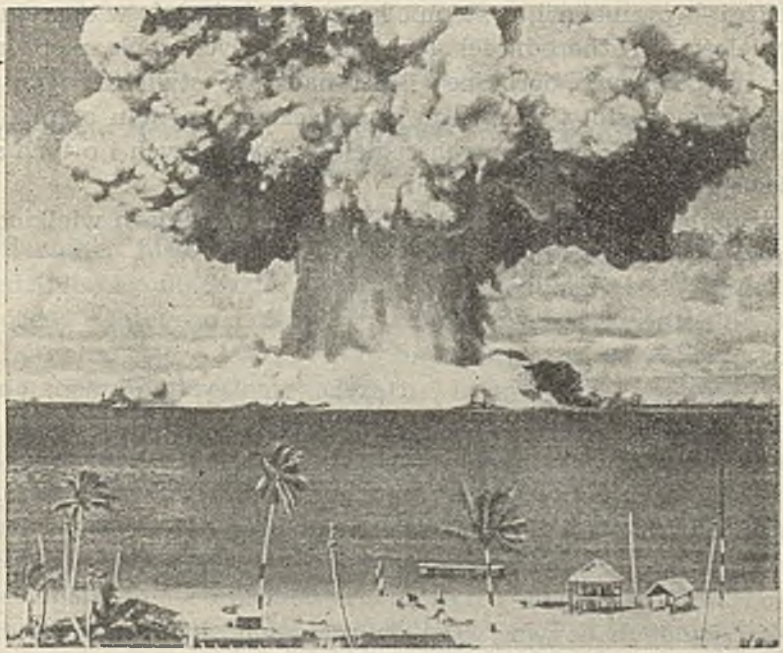
Chemia izotopów usiłuje rozwiązać pozytywnie i coraz dokładniej wymagania zgłaszane przez lecznictwo. Podniesiony został nie bez słuszności postulat, aby nie „zanieczyszczać" organizmu ludzkiego substancjami promieniotwórczymi wprowadzanymi do niego. Wypracowano więc różne metody działania pośredniego i chwilowego lub nie tak intensywnego jak promieniowanie wysyłane przez bombę kobaltową. Są to np. igły albo ampułki z substancjami promieniotwórczymi, albo też małe naboje z organicznego szkła nierozpryskowego (tzw. pleksiglas), wypełnione czynnym izotopem strontu itp.

Wreszcie parę słów wypada jeszcze poświęcić nowym doświadczeniom i osiągnięciom w zakresie efektów ściśle biologicznych, uzyskanym przy pomocy substancji promieniotwórczych. Upoważniają one do przyjęcia hipotezy[12], że działając takimi substancjami niektóre z niepożądanych cech w żywych organizmach można będzie eliminować całkowicie albo przynajmniej je osłabić, a pożądane wzmocnić lub nawet wywołać. Rolnicze stacje doświadczalne w USA podają np., że naświetlając promieniami gamma (z izotopu kobaltu) warzywa, drzewa owocujące albo zboża uzyskuje się zadziwiające wyniki: nowe odmiany warzyw, wcześniejsze dojrzewanie owoców, znaczny wzrost wydajności zbóż.

Tak więc wielka lawina faktów związanych z wyzwalaniem energii atomowej toczy się z coraz większym i wyraźniejszym przyspieszeniem. Tak samo jak uderzenie neutronu podwaja i potraja siłę zjawiska, tak też i jedno osiągnięcie w tej dziedzinie staje się niezwłocznie zaczynem kilku innych. Szczytowego momentu tej ewolucji nawet nie można jeszcze przewidzieć. Trudno nawet przepowiedzieć, czy ta doniosła zdobycz

[12] Cragg L. H., Graham R. P., *op. cit.*, str. 673.

jedna z największych w dziejach ludzkości, wyzyskana zostanie jako potężna siła motoryczna rozwoju cywilizacji i niewyobrażalnego dziś postępu i dobrobytu materialnego, czy też stanie się źródłem nowych konfliktów i katastrof dla świata oraz hamulcem jego rozwoju. Profesor Harold Urey[13], który w czasie wojny odegrał czołową rolę przy opraco-



Eksplozja bomby atomowej na Bikini

wywaniu pierwszej bomby atomowej i który był odkrywcą deuteru, powiedział z najwyższym ubolewaniem: „Jeżeli najbliższa wojna będzie rozgrywana przy użyciu bomby atomowej, to w kolejno następnej ludzie posługiwać się będą już tylko najprymitywniejszym narzędziem walki tj. oszczepem". Wszystko zależy wyłącznie od przesłanek rozumowych, którymi będzie się kierował nowoczesny człowiek, a nie od środków, które ma on do swojej dyspozycji.

Jeden z myślicieli[14], rozważając na początku wieku procesy rozwojowe w zakresie tego wszystkiego, co ogarnia się mianem kultury, określa ewolucję funkcji twórczych jako żmudną drogę, wychodzącą od ciasnej i ograniczonej jednostronności, biegnącą następnie poprzez schaotyzowaną i zróżnicowaną wielość i wreszcie docierającą do swego punktu szczy-

[13] Clements R., *op. cit.*, str. 30.

[14] Simmel G., *Philosophische Kultur*, Dr. W. Klinkhardt, Leipzig 1911, str. 247.

towego wyrażającego się w jedności złożonej, ale w pełni harmonijnej. Jakkolwiek więc w przyszłości będzie wykorzystana potęga energii atomowej, już obecnie trzeba stwierdzić, że na drodze wskazanej przez Simmela kształtowały się w ciągu wielu wieków poglądy na istotę i strukturę wewnętrzną materii. W zaraniu cywilizacji wychodziły one z dość prymitywnych spekulacji myślowych o jednorodności — nie określonej bliżej — pramaterii, następnie krzewiły się bujnie w oparciu o koncepcję wielości i różnorodności genetycznie obcych sobie pierwiastków; wreszcie na podstawie ogromnej ilości naukowo stwierdzonych faktów dotarły do samej istoty rzeczy, do dynamicznego modelu atomu, zbudowanego w zasadzie z tych samych cegiełek materialnych i o tych samych wielkościach energetycznych.

Oto drugi, prawdziwie prometejski wyczyn w dziejach wielkich osiągnięć i triumfów rozumu ludzkiego.

Rozdział XI

Współczesne tendencje rozwojowe w przemyśle chemicznym na tle faktów historycznych

Wydarzenia historyczne, zanotowane w ciągu ostatniego 25-lecia w dziedzinie chemii czystej i stosowanej, uchylają się w zasadzie przed ścisłą oceną syntetyczną. Gdy idzie o fakty bliskie i aktualne, zjawisko takie ma charakter dość powszechny. Brak odpowiedniego dystansu utrudnia znacznie określenie „ciężaru właściwego" i ustalenie bezpośrednich i wtórnych konsekwencji oraz powiązań wielu faktów, powodując, że pozycje bilansu zamknięcia są chwiejne i niepewne. Te objektywne i naturalne trudności mnożą się w nieskończoność, gdy usiłuje się zbilansować zagadnienia i osiągnięcia związane z chemią nowoczesną. W obu poprzednich rozdziałach usiłowano nakreślić choćby najbardziej sumarycznie i pobieżnie obraz nowych ustaleń i odkryć naukowych, a także nowych rozwiązań technologicznych oraz nowych dokonań inwestycyjno-gospodarczych w zakresie chemii. Nawet taki skrócony i może nieco uproszczony obraz daje pogląd, jak dalece problematyka chemiczna teoretyczna i praktyczna, laboratoryjna i ruchowa, inżynieryjna i ekonomiczna ulega współcześnie ogromnemu zróżnicowaniu i uwielokrotnieniu w stosunku do stanu z początków bieżącego stulecia. Samo zinwentaryzowanie i logiczne uszeregowanie tych rozlicznych faktów, ustalenie ich obiektywnej wartości jest wykonaniem tylko części zadania historyka. Niemniej ważne bowiem jest wykrycie i oznaczenie wewnętrznej dynamiki, tkwiącej w tych faktach oraz podjęcie próby wytyczenia najogólniejszych drogowskazów znaczących kierunek tego wielkiego procesu ewolucyjnego, który sprawy chemii wysunął współcześnie na czołowe miejsce wśród zagadnień technicznych i gospodarczych całego świata.

Pomimo świadomości, że niektóre fragmenty takiej syntezy mogą ulegać w przyszłości skorygowaniu lub uzupełnieniu, wysiłek ten, jak wydaje się, powinien być podjęty, gdyż jest to jedyna droga wiązania dziejów z budzącą się do życia przyszłością oraz wyjaśnienia sensu i kierunku dokonujących się ustawicznie zmian. Z tego punktu widzenia należy

zwrócić uwagę, że już na przełomie wieków XIX i XX można było zdumiewać się niejednokrotnie z powodu wspaniałych rozwiązań technologicznych i gospodarczych oraz realizowanych krok za krokiem nowości w różnych działach nauki i przemysłu chemicznego. Osiągnięcia i zdobycze wielkiego kalibru prześcigały się wówczas bez przerwy; chociaż miały charakter wyczynów indywidualnych i zdobyczy nie zawsze powiązanych ze sobą merytorycznie, to jednak były najczynniejszym motorem rozkwitu i postępu w dziedzinie chemii. W charakterze tej ewolucji zachodzą obecnie dość istotne zmiany. Już nie sporadyczne, choćby najliczniejsze i najdonioślejsze osiągnięcia indywidualne decydują o dynamice rozwojowej chemi, ale przeświadczenie o wyjątkowej wadze społecznej, gospodarczej, technicznej i cywilizacyjnej chemii, we wszystkich jej przejawach, stało się motorem postępu. Dziś można by powiedzieć, że cały świat, nawet w najdalszych zakątkach geograficznych, „postawił" na chemię, wysunął ją na czoło współczesnej działalności techniczno-gospodarczej, a w konsekwencji w takiej atmosferze powstają i będą powstawać nadal nowe odkrycia, rozwiązania i nowe sukcesy twórcze we wszystkich odcinkach pracy chemicznej.

Już poprzednio przytoczono liczby ilustrujące rozwój światowej produkcji chemicznej w latach 1924—1957 rok. W ciągu 33 lat wartość tej produkcji wzrosła ponad 12-krotnie, pomimo że w 1924 r. przemysł chemiczny był już potężnie rozwinięty w Europie i w Ameryce. Wszystkie zaś dane wskazują jednozgodnie, że przemysł ten po drugiej wojnie światowej wyprzedza z reguły w dynamice rozwojowej o duży dystans wszystkie inne gałęzie wytwórczości górniczej i przemysłowej. Jeżeli istniejący w latach 1937—1938 stan rzeczy oznaczy się wskaźnikiem 100, to w 1955 r. wskaźniki ilustrujące porównawczo rozwój całego przemysłu i rozwój przemysłu chemicznego dają obraz następujący: wskaźnik ogólno-przemysłowy Francji odpowiadał liczbie 167, a wskaźnik produkcji chemicznej 200; analogiczne pozycje w Wielkiej Brytanii wyrażają się liczbami 146 i 191, we Włoszech 196 i 316, w USA 228 i 327, w Japonii 180 i 380 itd.[1]. Można poddawać analizie kolejno najbardziej różne i odległe od siebie fragmenty rzeczowe związane z rozwojem chemii w skali światowej i wszędzie stwierdzi się ten sam stan rzeczy.

Obecnie produkcja azotu związanego przekracza 12 mln ton rocznie, przy czym pozycja saletry chilijskiej została zredukowana do liczb nie mających większego znaczenia. Podobnie szybki rozwój rejestruje się w przypadku chemicznej przeróbki ropy naftowej, gazu ziemnego, acetylenu, fosforytów, siarki, boksytu lub w produkcji półproduktów organicznych, tworzyw sztucznych, włókien sztucznych i syntetycznych, kauczu-

[1] Szymusik Z. *Chemik* **10** 252, 290 (1957); L'Industrie Chimique en Europe, OCCE, Paris 1961, str. 21, 27—28.

ków, chloru, sody kaustycznej, kwasu siarkowego, superfosfatów, koksu, wyrobów farmaceutycznych itp. Podkreślono już z naciskiem, że substancje gazowe a w szczególności gaz ziemny i gaz koksowniczy odgrywają ostatnio pierwszoplanową rolę jako surowce chemiczne. Wyrazem tego jest m. in. fakt, że długość światowych rurociągów rozprowadzających te gazy odpowiada potrójnej długości trasy ziemia-księżyc. Światowa produkcja syntetycznego metanolu nie przekraczała na początku lat trzydziestych 35 tys. ton rocznie; pod koniec lat czterdziestych dosięgała już 900 tys. ton.

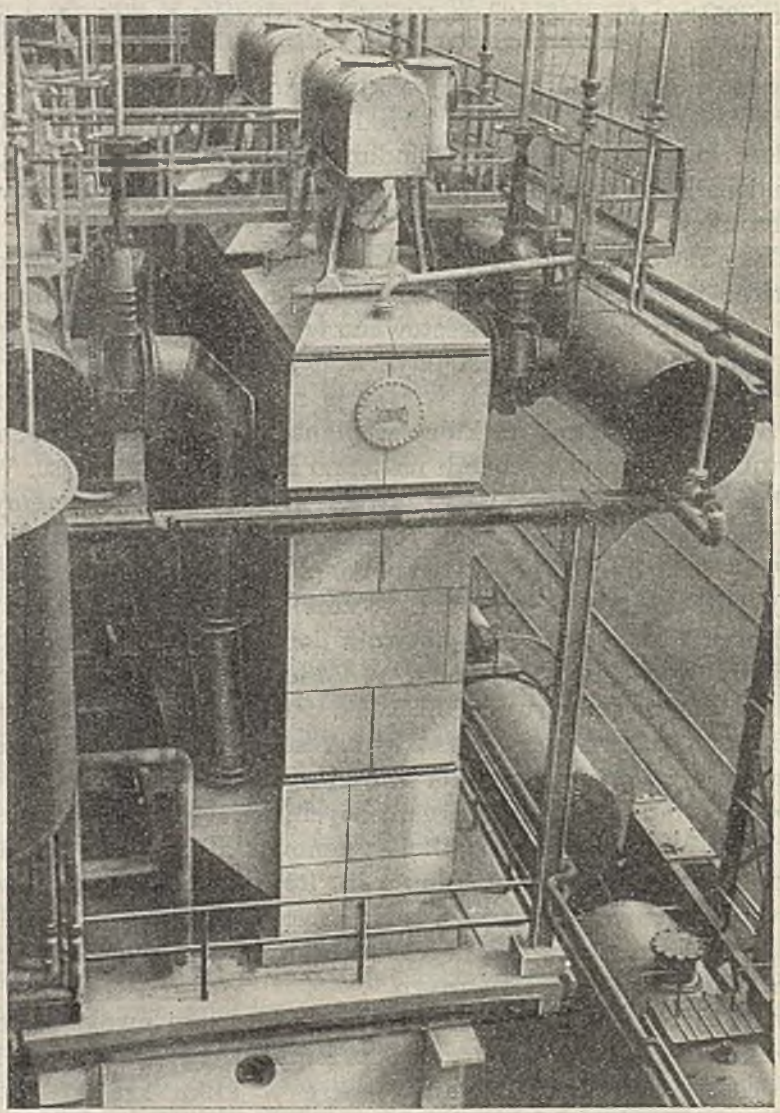
Tendencje ekonomiczne przejawiające się wyraźnie w nowoczesnym przemyśle chemicznym dotyczą przede wszystkim trzech zasadniczych zagadnień: inwestycji, obrotów handlowych chemikaliami oraz usprawnień racjonalizatorskich i rywalizacji metod w zakresie kosztów własnych produkcji.

Nakłady inwestycyjne zwiększają się nie tylko w skali bezwzględnej, ale ponadto wzrastają silnie w przeliczeniu na jednostkę produkcji planowanej. Tak np. w USA zainwestowano w przemysł chemiczny w 1955 r. prawie 1 mld dol., w roku następnym 1,45 mld dol. i w 1957 r. 1,72 mld dol. W podobnych proporcjach wzrastają nakłady inwestycyjne na chemię w Związku Radzieckim, który w planach perspektywicznych wysunął ostatnio inwestycje w chemii na jedno z naczelnych miejsc. W Europie zachodniej, w obrębie OECE[2] kwoty inwestowane w przemysł chemiczny sięgają ok. 1,2 mld. dol. rocznie. Głównymi inwestorami w latach 1955—1959 były: Wielka Brytania (z sumą ok. 320—425 mln dol. rocznie), NRF (300—370 mln dol. rocznie), Francja (ok. 200 mln. dol. rocznie) oraz Włochy (ok. 200—260 mln dol. rocznie). Kierunek tych inwestycji był wyraźnie wytyczony. W Ameryce ok. 60%, a prawie we wszystkich państwach grupy OECE ok. 50% nakładów sumarycznych, przypadało na petrochemię. Wysokie miejsce w wydatkach inwestycyjnych zajmuje również produkcja tworzyw sztucznych, a ostatnio także wielu półproduktów do syntez organicznych, jak acetylen, propylen i butylen, tlenek etylenu, styren, glikol etylenowy, alkohole, kwasy i aminy organicznie, butadien, kaprolaktam i in. Równocześnie rozbudowuje się intensywnie przemysł farmaceutyczny, nawozów azotowych i wieloskładnikowych, kauczuku syntetycznego, detergentów i rozpuszczalników oraz włókien sztucznych i syntetycznych.

Nowym zjawiskiem jest fakt skierowania bacznej uwagi na inwestycje w zakresie podstawowych gałęzi przemysłu chemicznego w krajach Europy centralnej i wschodniej, a także w kilku krajach Azji oraz w Australii, Kanadzie i Ameryce południowej. Tak np. silne tempo inwe-

[2] OECE = Organisation Européenne de Coopération Economique (Organizacja Europejskiej Współpracy Gospodarczej).

stycyjne zezwoliło Japonii na wysunięcie się w ciągu jednego tylko dziesięciolecia na trzecie miejsce w świecie w zakresie produkcji tworzyw sztucznych (fenolowych, mocznikowych, melaminowych, poliwinylowych i poliwinylidenowych, polietylenów, polistyrenów itp.). Również bardzo duże postępy w chemi przemysłowej poczyniły ostatnio Chiny Ludowe, Indie, Indonezja, Korea i in.[3].



Elektrofiltry do wydzielania par smołowych

[3] *Chemik*, **13**. 324, 368, 371, 381, 422, 423 (1960); **14**, 111, 115, 202, (1961).

Drugim charakterystycznym i nowym rysem w polityce inwestycyjnej jest wyraźny wzrost nakładów na jednostkę zaplanowanej produkcji. Przyczyny tego zjawiska są różne. Z jednej strony jest to następstwem dążenia do zwiększenia stopnia mechanizacji i elektryfikacji, a nawet zautomatyzowania zarówno ruchu surowców i półproduktów fabrycznych, jak i procesów przetwórczych oraz urządzeń kontrolnych, z drugiej zaś — wynikiem tendencji stosowania najlepszych materiałów konstrukcyjnych, najniezawodniej działających maszyn i urządzeń fabrycznych, a także instalacji dodatkowych, mających na celu wyzyskanie energii odpadkowych lub produktów ubocznych.

Wreszcie czynnikiem zwiększającym nakłady inwestycyjne w przeliczeniu na zdolność produkcyjną są wysiłki zmierzające do możliwie najdoskonalszego zabezpieczenia zdrowia i życia przyszłych współpracowników oraz do usunięcia lub ograniczenia niebezpieczeństwa zatruwania ściekami fabrycznymi wód publicznych lub zanieczyszczania powietrza.

Omówione właśnie zjawiska i tendencje w dziedzinie inwestycji mają oczywiście swoje głębokie uzasadnienie ekonomiczne w rozwoju sytuacji na rynkach krajowych i na rynku światowym. Zapotrzebowanie na produkty chemiczne zarówno te, które jako produkty końcowe odbierane są wprost przez konsumentów, jak i te, które służą do dalszego przerobu fabrycznego rozwijało się szczególnie w latach pięćdziesiątych bardzo intensywnie. Wymownym przykładem jest istniejący w tym zakresie stan rzeczy w Europie zachodniej. Sumaryczne obroty produktami chemicznymi w krajach OECE wyniosły w 1956 r. 13,7 mld dol., a w roku następnym 15,2 mld dol.[4], czyli trzykrotnie więcej niż wartość całkowitej światowej produkcji chemicznej w 1924 r. W kilku najważniejszych działach zapotrzebowanie w tych krajach rosło tak szybko, że rynek nie tylko wchłaniał bez reszty całą wciąż wzrastającą produkcję własną, ale ponadto trzeba było zwiększać import określonych produktów. Najintensywniejszy rozwój zapotrzebowania zaznacza się w grupie produktów petrochemicznych; ich produkcja w krajach OECE, wzrosła w 1957 r. w porównaniu z rokiem ubiegłym o 34%, a zapasy magazynowe w wytwórniach i w handlu nie powiększyły się. W kołach fachowych przewidywano, że w okresie 4-letnim, 1957—1960 zapotrzebowanie na pochodne petrochemiczne ulegnie w tych krajach potrojeniu. Następną grupą demonstrującą szczególnie dynamiczny rozwój jest grupa tworzyw sztucznych. W stosunku do 1956 r., wzrost w 1957 r. wyraził się w tym dziale liczbą 21%. W tych samych państwach przejawił się również znaczny

[4] *The Chemical Industry in Europe*, OECE, Paris 1959; *L'industrie Chimique en Europe*, Paris 1961, str. 40—43; *U. N. Economic Survey of Europe in 1960*, Chap. I. p. 6. Geneva 1961.

rozwój zapotrzebowania na nawozy sztuczne, detergenty, włókna syntetyczne i kauczuk; w zakresie barwników wystąpił w latach ostatnich silniejszy wzrost ich wartości (w związku z podniesieniem jakości) niż ilości. Bardzo znamienne zjawisko można też zaobserwować w dziale przemysłu farmaceutycznego. W 1957 r., w porównaniu z rokiem ubiegłym, oceniano wzrost produkcji leków syntetycznych w krajach OECE na 10%, wzrost eksportu na 16%, a wzrost importu — głównie ze Stanów Zjednoczonych — na 21%. W bilansach handlowych wielu państw eksport leków stał się rzeczywiście w latach ostatnich pozycją poważną. Dla USA odpowiadał on kwocie 225 mln dol. w 1955 r.; w tym samym roku Wielka Brytania wywiozła leków za 100 mln dol., Szwajcaria za 95 mln. dol., a Francja i NRF, każde za ok. 70 mln dol. Również i inne produkty chemiczne stanowią obecnie dość znaczne pozycje w bilansach handlowych. Tak np. niemieckie tworzywa sztuczne, a częściowo barwniki, nawozy azotowe, półprodukty organiczne, odczynniki itp. zyskują coraz szerszy zbyt w Ameryce Południowej, Afryce, Indiach i w wielu innych krajach. Również przemysł chemiczny włoski rozwija ostatnio dużą działalność eksportową, w szczególności do Azji wschodniej (Chiny Ludowe) i południowej. Wartość wywozu włoskich chemikaliów, osiągająca w 1957 r. kwotę 160 mln. dol., przekroczyła w roku następnym 200 mln dol. Podobne tendencje i osiągnięcia można stwierdzić i w wielu innych krajach rozwijających szybko produkcję chemiczną, jak Holandia, Czechosłowacja, Polska, NRD, Węgry i in.

Jeżeli z jednej strony konstatuje się fakt zwiększania nakładów inwestycyjnych na każdą jednostkę produkcji planowanej, to z drugiej strony można stwierdzić bardzo wyraźną i powszechną tendencję nieustającej walki o redukcję każdej z pozycji rozchodowych w koszcie własnym produkcji chemicznej. W rzeczywistości oba te zjawiska stanowią odmienne aspekty tego samego zagadnienia. Dlatego bowiem podwyższa się jednorazowo nakłady inwestycyjne, aby odpowiednio obniżyć stałe wydatki ruchowe, a zwłaszcza aby zmniejszyć do minimum wydatki na remonty, postoje coraz to większych jednostek produkcyjnych oraz na niekwalifikowaną pracę ludzką. Do tego dołącza się ostra rywalizacja metod, operujących często różnymi surowcami lub materiałami wyjściowymi, a zmierzająca do tego samego celu końcowego, tj. do zredukowania stałych kosztów produkcji. Jednym z licznych przykładów może być roztrząsana szeroko w prasie fachowej[5] sprawa wytwarzania mieszaniny gazowej do syntezy amoniaku albo acetylenu do syntez organicznych na podstawie różnych metod i różnych materiałów wyjściowych. Rozpięto-

[5] *Chemik* 9, 90 (1956); 13, 338 (1960); Lejbusz A. G., Szorin E. D., *Chim. Prom.* 6, (1960).

ści w kosztach własnych tych samych produktów mogą być czasem bardzo znaczne w zależności od warunków lokalnych i od wybranej metody. Tak np. dla warunków niemieckich (NRF) ustalono, że jeżeli koszt własny wytworzonego 1 m^3 etylenu w procesie z elektrotermicznego krakowania petrochemicznego oznaczy się liczbą 100, to wskaźnik kosztu własnego etylenu z gazu koksowniczego zwiększa się do 130, z pirolitycznego rozkładu etanu dochodzi do 170, z krakowania etanu do 210, z odwodnienia alkoholu etylowego nawet do 400. Podobnie koszt własny produkcji 1 l alkoholu etylowego (100-procentowego) określano porównawczo w warunkach polskich z przerobu ziemniaków na 11,4 zł., z przerobu karbidu i acetylenu na 7,6 zł., z przerobu melasy na 5,2 zł. a z etylenu petrochemicznego na 5,0 zł. Oczywiście, że to samo zagadnienie kosztów własnych analizowane jest obecnie z wielu innych punktów widzenia. Można tu przytoczyć fakt utrzymywania np. wielkich pieców karbidowych, tych „pożeraczy" energii elektrycznej, w pełnym ruchu tylko w godzinach pozaszczytowych danej centrali elektrycznej, obsługującej również innych odbiorców. Wyrównując obciążenia dobowe i sezonowe elektrowni poprzez włączenie karbidowni uzyskuje się szczególnie tani prąd do celów chemicznych.

W związku z rozważaniem wymienionych zagadnień ekonomicznych, wynikających z rozwoju i rozrostu nowoczesnego przemysłu chemicznego, należy jeszcze zwrócić uwagę na niektóre inne przejawy i tendencje znamienne dla obecnej fazy ewolucyjnej. Przede wszystkim więc trzeba podkreślić fakt, że ogromny rozwój przemysłu chemicznego w latach 1951—1960 nie spowodował równorzędnego wzrostu sił pracowniczych. Wpłynęły na to różne okoliczności. Z jednej strony nowouruchomione wytwórnie dysponowały z reguły najnowocześniejszymi instalacjami, a więc i największymi jednostkami przetwórczymi, wymagającymi w skali produkcyjnej znacznie mniejszej obsługi; z drugiej strony znaczna część zarejestrowanego wzrostu produkcji chemicznej była rezultatem modernizacji, mechanizacji i częściowo automatyzacji już dawniej istniejących i produkujących fabryk, co powodowało pewną redukcję liczby zatrudnionych pracowników. Wreszcie w tym czasie można zaobserwować zjawisko nieprzeciętnie wysokiego stopnia wyzyskania zdolności produkcyjnej wielu fabryk chemicznych. Tak np. w krajach OECE notowano w latach 1956—1958 pełne wykorzystanie potencjału wytwórczego w zakresie petrochemii, tworzyw sztucznych, nawozów złożonych i skoncentrowanych, chloru, acetylenu i czystych węglowodorów aromatycznych, a w ok. 90% w dziale nawozów konwencjonalnych, sody kalcynowanej i żrącej itd.[6].

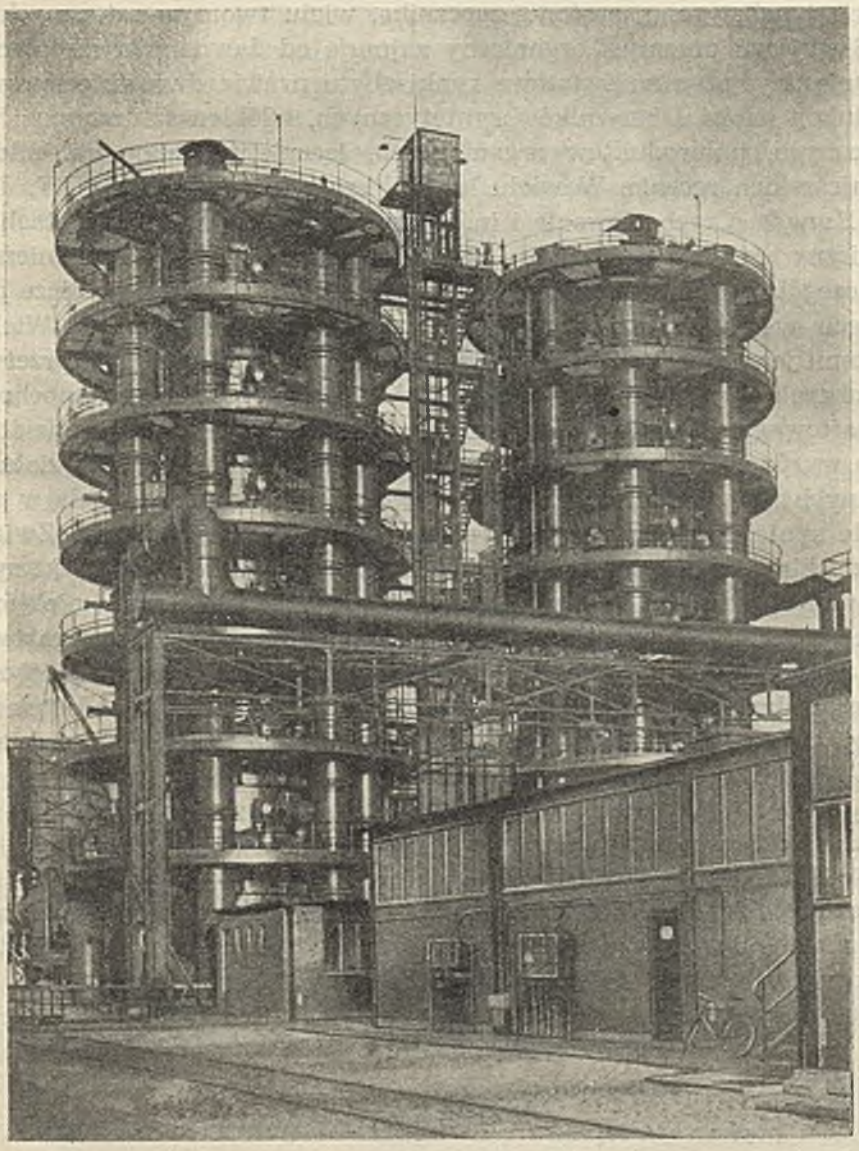
[6] OECE, *The Chemical Industry in Europe*, Paris 1959, str. 17.

Taki stan faktyczny prowadzi z reguły do najkorzystniejszych wskaźników zatrudnienia. Gwałtowny postęp techniczny w tych dziedzinach wywołał jednak i inne zjawisko, występujące czasem w formach dość ostrych. Mianowicie zaczęły się przejawiać coraz większe trudności w dysponowaniu kwalifikowanym w pełni personelem ruchowym. Takie trudności zarysowały się szczególnie wyraźnie np. we Włoszech, Holandii oraz w krajach, które dopiero zapoczątkowały akcję szybkiego uprzemysłowienia. Podjęto więc na szeroką skalę wysiłki szkolenia personelu ruchowego przez same fabryki przy czynnej pomocy ze strony instytucji państwowych oraz wyższych uczelni. Trzeba jednak zaznaczyć, że z wprowadzaniem na szeroką skalę automatyzacji do fabryk chemicznych problem nadmiaru sił niewykwalifikowanych i braku pracowników wysokokwalifikowanych jest ponownie aktualny.

W drugiej połowie lat pięćdziesiątych można skonstatować też jako tendencję ogólną dużą stabilizację cen na produkty chemiczne. Odnosi się to zarówno do różnych okręgów geograficznych i gospodarczych, jak i do różnych produktów. Sporadycznie jednak zanotowano w tym czasie poważniejsze redukcje cen, np. we Włoszech od 1 lipca 1958 r. obniżono o 20% ceny nawozów azotowych, a ceny siarki pochodzącej z USA spadły o 10% i meksykańskiej nawet o 20% itp.

Jednym z dalszych znamion charakteryzujących współczesny rozwój przemysłu chemicznego w świecie jest fakt ponownego przesuwania się punktu ciężkości w kierunku przemysłu organicznego. Nie oznacza to bynajmniej, aby przemysł nieorganiczny znajdował się obecnie w fazie zastoju czy recesji. W Związku Radzieckim i w USA produkcja chemiczna rozwija się dość wszechstronnie. W Związku Radzieckim wzrasta m. in. bardzo szybko produkcja kwasów nieorganicznych, sody, nawozów sztucznych i przede wszystkim produkcja elektrochemiczna; w ciągu pięciolecia 1952—1957, produkcja np. związków azotowych wzrosła tam z 470 tys. ton do 750 tys. ton azotu. W Wielkiej Brytanii, Francji, NRF, NRD, Japonii i in. przemysł nieorganiczny ma wciąż jeszcze bardzo dużą pozycję. Aktualne siły rozwojowe zaczynają jednak wysuwać wszędzie przemysł organiczny na pierwsze miejsce. Ewolucja zachodząca w latach pięćdziesiątych we Francji jest pod tym względem przykładem pouczającym i typowym. Jeżeli sumaryczną produkcję chemiczną Francji w 1953 r. oznaczy się umowną liczbą 100, to w cztery lata później wskaźnik rozwoju przemysłu nieorganicznego doszedł do 143, a organicznego do 252. Fundamentem tego rozwoju jest petrochemia, a w pierwszym rzędzie źródła gazu ziemnego w Lacq. Fachowi eksperci ocenili, że w 1962 r. z tego gazu, zawierającego ok. 15% siarkowodoru, uzyska się obok 1,2 mln ton siarki, 2 mln ton benzyny 80 tys. ton propanu, 80 tys. ton butanu oraz 4 mld m^3 gazu o wartości opałowej ok. 9000 kcal/m^3. Łącznie z rozbudo-

wanymi rafineriami ropy i instalacjami krakingowymi będzie to mocna podstawa dla rozwoju petrochemii, a w szczególności syntez organicznych. Nowo uruchamiane fabryki francuskie wytwarzają w dużych i zwiększających się ilościach takie produkty, jak przyspieszacze i przeciwutleniacze do produkcji tworzyw sztucznych i kauczuków syntetycznych, rozpuszczalniki, polichlorek i polioctan winylu, żywice melaminowe, epoksydowe, akrylowe i metakrylowe, polietylen, a ponadto różne



Urządzenia do absorpcji par gazolinowych za pomocą węgla aktywnego

półprodukty organiczne, węglowodory aromatyczne, oraz antybiotyki, witaminy, insektycydy itd. Podobny stan rzeczy można stwierdzić we Włoszech, rozwijających intensywnie swoją petrochemię. I w tym przypadku głównym motorem sił rozwojowych jest rozbudowa rafinerii naftowych oraz dysponowanie znacznymi ilościami własnego gazu ziemnego. Na takiej podstawie rozbudowano tam ostatnio wiele ważnych działów wytwórczych, np. fenolu syntetycznego, bezwodników: octowego, maleinowego i ftalowego, metanolu, aldehydu i kwasu octowego, polietylenu i polistyrenu, acetonu, mocznika, wielu tworzyw sztucznych itd. W Szwajcarii przemysł organiczny zajmuje od dawna pierwszoplanową pozycję, wywożąc na światowe rynki zbytu prawie dwie trzecie swojej produkcji leków i barwników syntetycznych, włókien sztucznych i syntetycznych, półproduktów organicznych, łącznie na sumę ok. mld fr. szwajcarskich rocznie. W wielu innych krajach, jak ZSRR, NRF, Japonia, Kanada, Czechosłowacja i in.[7], przejawia się w ostatnich latach dynamiczny rozwój przemysłu chemicznego w ogóle, a organicznego w szczególności. Równocześnie dokonują się różne inne i zasadnicze przesunięcia w obrębie samego przemysłu organicznego. Tak np. w Wielkiej Brytanii jeszcze w 1953 r. surowce, którymi operował przemysł przetwórczo-organiczny były w 80% pochodzenia węglowego, a w 20% pochodzenia naftowego. W 1959 r. obraz był już gruntownie zmieniony; udział obu grup wyrównał się. Na 1965 r. planowano zaś podwyższenie udziału pochodnych petrochemicznych na 65—75%[8]. Podobne przesunięcia w przemyśle syntez organicznych dokonały się w ostatnich latach w Związku Radzieckim[9]. Wreszcie niemałe znaczenie praktyczne posiada fakt systematycznego rozwoju zapotrzebowania i nowego zastosowania niektórych materiałów wyjściowych. Tak np. rozrost produkcji chloru gazowego jest powszechnie znany; pewną nowością jest jednak powszechne obecnie zjawisko, że syntezy organiczne zużywają coraz większy odsetek produkcji chloru. Ten interesujący proces można prześledzić na przykładzie USA, przedstawionym w zestawieniu:

Rok	1940	1945	1950	1955
Produkcja chloru w tys. ton.	635	1084	1890	2770
Zużycie chloru do syntez organicznych	348	684	1272	2092

Do lat pięćdziesiątych karbid służył przede wszystkim do produkcji azotniaku, a w niedużej części do wytwarzania acetylenu; acetylen zaś stosowano w warsztatach mechanicznych do cięcia lub spawania metali oraz do celów oświetleniowych. Obecnie głównym odbiorcą karbidu i acetylenu jest przemysł syntez organicznych. Jednak acetylen pochodzenia

[7] *Chemik*, 13 [2], nr. 2 nr [11—12], 480—483 (1960).
[8] OECE, *op. cit.* str. 86;
[9] Bobrownicki T. *Chemik*, 11, [7—8], (1958).

karbidowego jest zbyt drogi i jest go za mało; toteż od lat 1952—54 rozwinięto w kilku krajach na największą skalę produkcję acetylenu przez półspalanie gazu ziemnego.

W wielkim procesie ewolucyjnym można odkryć jeszcze wiele innych sił motorycznych i kształtujących, które wywierając wpływ na charakter nowoczesnej chemii przemysłowej w latach ubiegłych, wytyczają równocześnie kierunki rozwoju na najbliższą przyszłość. Tak np. w zakresie materiałów wyjściowych i pomocniczych można stwierdzić tendencję zarówno zastępowania pośledniejszych, prymitywniejszych i jakościowo gorszych surowców lepszymi, przetworzonymi i oczyszczonymi albo bardziej skoncentrowanymi (czysty izotop uranu zamiast tlenku, siarka zamiast pirytów, tlen zamiast powietrza itp.), jak i racjonalnego wyzyskania materiałów uważanych dawniej za mało użyteczne (stosowanie węgla brunatnego, zgazowanie podziemne pokładów trudniejszych do odbudowy górniczej, wydzielanie siarki z gazów odpadkowych zawierających siarkowodór, wydzielanie związków potasowych jako produktów ubocznych w różnych procesach technologicznych itd.). Zjawiskiem powszechnym jest też dążenie do możliwie największego zintensyfikowania produkcji oraz uzyskania lepszej jakości produktów.

O rywalizacji metod lepszych z dobrymi wspominano już kilkakrotnie. Jest to zjawisko ogólne i stwierdzane w chemii od dawna. Tylko powszechność tego wyścigu jest zjawiskiem nowym. Metody wiązania azotu z powietrza i koszt energetyczny tych procesów, sposoby wytwarzania nawozów azotowych i fosforowych, kwasów nieorganicznych, chloru, procesy elektrolitycznego rafinowania metali lub jednostkowe procesy w technologii organicznej, metody wytwarzania węglowodorów olefinowych czy aromatycznych, barwników i leków, włókien i kauczuków syntetycznych, tworzyw sztucznych, środków powierzchniowo czynnych, acetonu, butadienu itd. — wszystko to znajduje się w ciągłej przebudowie i podlega nieustannie prawom doskonalenia technicznego i ekonomicznego. Tak np. dawne, dość prymitywne generatory do zgazowania paliw stałych zostały wyrugowane przez nowoczesne urządzenia fluidyzacyjne, pyłowe, tlenowe, odciekowe, wysokociśnieniowe lub posługujące się ogrzewaniem przeponowym. Od kilkunastu lat produkowano tworzywa polietylenowe w oparciu o metodę wysokociśnieniową. Gdy jednak odkryto korzystniejszą metodę niskociśnieniową, w ciągu 2 lat uruchomiono np. w USA dziesięć wytwórni pracujących nową metodą i wytwarzających łącznie (w 1958 r.) ponad 150 tys. ton polietylenu niskociśnieniowego.

W myśl tych samych założeń racjonalizacyjnych realizuje się obecnie w przemyśle chemicznym szereg ważnych postulatów, stanowiących czasem duże pozycje nakładowe. Przede wszystkim należy podkreślić, że

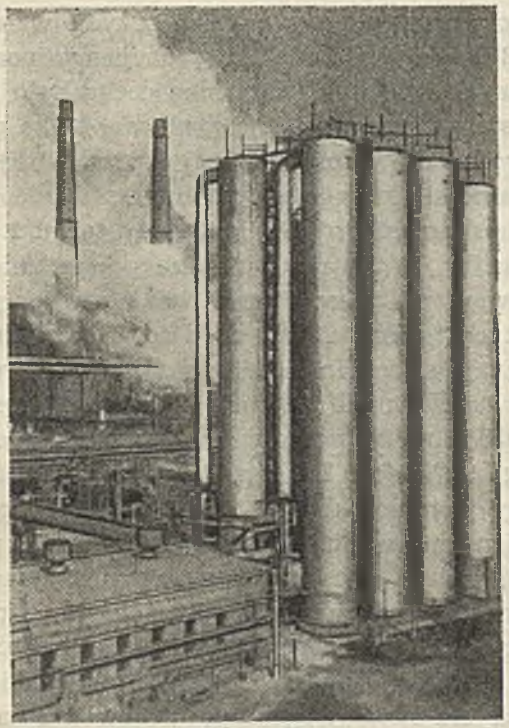
z postępem lat rozbuduje się coraz częściej i wszechstronniej własne i bogato wyposażone, fabryczne pracownie badawczo-naukowe, które są dziś takim samym instrumentem pracy jak instalacje produkcyjne. Niejednokrotnie decydują one o powodzeniu produkcji. Ponadto w ramach organizacyjnych wielu przedsięwzięć chemicznych powołane zostały do życia biura studiów organizacji pracy, oddziały kontroli technicznej w celu zwalczania wszelkiego marnotrawstwa materiałowego, energetycznego oraz marnotrawstwa pracy ludzkiej. Inną wielką problematykę narzuciły względy natury społecznej. Powstała nowa nauka o bezpieczeństwie i higienie pracy, a równocześnie podjęto wysiłki, często uwieńczone powodzeniem, ograniczenia uciążliwej pracy fizycznej do koniecznego minimum.

Równocześnie w zakresie produkcji chemicznej zarysowuje się wiele innych charakterystycznych przemian. Tak np. dokonuje się obecnie wyraźny proces emancypacyjny w zakresie produktów azotowych w wielu krajach europejskich i pozaeuropejskich, a przede wszystkim w Azji, gdzie produkcja przekracza już 2 mln ton czystego azotu rocznie. Podobnie w latach ostatnich przejawia się tendencja jakościowego przesuwania się zapotrzebowania na nawozy azotowe i częściowo fosforowe. Odnosi się to w pierwszym rzędzie do stosowania mocznika jako nawozu wysokoprocentowego, którego produkcja wzrasta obecnie dwukrotnie silniej niż nawozów typu azotanowego[10]. W kilku krajach poczęto też nie bez powodzenia stosować nawozy azotowe w stanie ciekłym, np. stężony roztwór mocznika nasycony amoniakiem, a również nawozy specjalne w formie stałej i nierozpuszczalnej w wodzie. Wytwarza się je przez kondensowanie mocznika z formaldehydem, i stosuje się je tam, gdzie idzie o działanie bardzo powolne, lecz trwałe. W dziedzinie nawozów fosforowych konstatuje się ostatnio pewne osłabienie zainteresowania dla zwykłych, niskoprocentowych superfosfatów; natomiast zdecydowany i silny rozwój zaznaczył się w dziale superfosfatów wysokoprocentowych (tzw. podwójnych i potrójnych) oraz nawozów wieloskładnikowych. Tak np. produkcja superfosfatu potrójnego wynosząca w USA ok. 90 tys. ton w 1930 r. doszła w 1952 r. do 800 tys. ton i do 1350 tys. ton w 1955 r.

Już poprzednio wspominano wielokrotnie o rekordowej dynamice rozwojowej petrochemii. Ona to przede wszystkim wyciska charakterystyczne znamię na ewolucji nowoczesnego przemysłu chemicznego i to nie tylko w krajach rozporządzających własną, wielką produkcją ropy naftowej, jak ZSRR, USA, Kanada, Austria, Rumunia itd., ale również w krajach skazanych na częściowy lub nawet całkowity dowóz ropy naftowej, jak

[10] Praca zbiorowa, *Technologia związków azotowych*, t. II. PWT. Warszawa 1956, str. 595.

Wielka Brytania, NRF, Francja, Włochy, Holandia, Belgia, Szwajcaria, Dania, Hiszpania, Portugalia i in. Surowcem, którego zużycie w petrochemii wzrasta najintensywniej, jest gaz ziemny; toteż gorączkowe poszukiwania za tym gazem ogarnęły ostatnio prawie wszystkie kraje świata. Obok USA i ZSRR oraz Bliskiego Wschodu i Sahary, tj. największych dysponentów faktycznych czy potencjalnych, przybywają wciąż nowi wy-



Kolumny do wydzielania benzolu z gazu

twórcy gazu ziemnego: Kanada, Meksyk, Venezuela, Indonezja, a w Europie Rumunia (z wydobyciem rzędu 10 mld m^3 rocznie), Włochy, Francja, NRF, Węgry, Czechosłowacja, Polska, Austria. W petrochemii Europy zachodniej preliminowano na 1958 r. wzrost przerobu surowców ciekłych w stosunku do roku poprzedniego o 46%, gazów rafinacyjnych i krakowych o 17% (w 1957 r. ok. 1 mln ton) a gazu ziemnego o ponad 100%. Jednym z głównych motywów tak szybkiego i tak wszechstronnego rozwoju petrochemii jest to, że skracając cykle przetwórcze w procesach niektórych syntez organicznych, związanych dawniej częściowo z przerobem węglopochodnych, umożliwia ona bardzo wydatne obniżenie kosztów własnych, a czasem również i nakładów inwestycyjnych do poziomu często bezkonkurencyjnego.

Niedużo w tyle za petrochemią pozostaje rozwój produkcji tworzyw i żywic sztucznych oraz kauczuków syntetycznych[11]. Najbardziej charakterystycznym zjawiskiem w dziedzinie tworzyw sztucznych jest to, że rozwijająca się intensywnie produkcja nie może w niektórych krajach nadążyć za jeszcze silniej rosnącym z roku na rok zapotrzebowaniem. Tak np. we Francji sumaryczna produkcja tworzyw wynosząca w 1953 r. 43 tys. ton wzrosła do 260 tys. ton w 1959 r.[12], w okresie 6 lat zwiększyła się więc sześciokrotnie; ale wewnętrzne zużycie wzrosło w tym czasie z 58 tys. ton na 265 tys. ton. Podobna sytuacja wytworzyła się w Kanadzie i w kilku innych krajach. Znamienną cechą było i to, że wszystkie tworzywa miały stale mocną sytuację rynkową; tylko pochodne celulozy rejestrowały sporadycznie słabszy rozwój (np. w NRF). Naogół zaobserwowano przesuwanie się szczególnego zainteresowania odbiorców w kierunku tworzyw termoplastycznych. Materiały termoutwardzalne, z wyjątkiem aminoplastów, miały nieco słabsze powodzenie. Nie można też pominąć faktu stwarzania i rozwijania wciąż nowych możliwości zastosowania i zbytu tych tworzyw. Tak np. z coraz większą siłą przejawiają się obecnie tendencje stosowania na większą skalę tworzyw sztucznych jako materiałów budowlanych i konstrukcyjnych, często w kombinacji z metalami. W 1956 r. wytworzono w USA sumarycznie 1,8 mln ton plastomerów, z czego 13% (ok. 230 tys. ton) zużył przemysł budowlany. Znany i cytowany jest szeroko fakt zbudowania laboratorium chemicznego dla firmy Monsanto w St. Louis prawie w całości z tworzyw: sufity są pokryte polichlorkiem winylu, ściany mają wykładnicę poliestrową z wkładką z piankowego tworzywa styrenowego, stoły laboratoryjne z masy melaminowej, zlewy z polietylenu itd. Wreszcie należy stwierdzić, że w latach ostatnich wzrasta coraz bardziej udział kauczuku syntetycznego w pokryciu światowego zapotrzebowania na wyroby kauczukowe.

Tak można analizować, systematycznie i wnikliwie, jeden dział gospodarstwa społecznego za drugim, śledzić kolejno rozwój różnych odgałęzień produkcji chemicznej, klasyfikować ich dynamikę i tendencje ewolucyjne przy przyjęciu zmiennych założeń, odmiennych punktów widzenia i różnych sprawdzianów, aby wreszcie dojść każdą z tych dróg do przekonania, że w grupie przemysłowej chemia dystansuje coraz wyraźniej wszystkich innych współpartnerów, że w zakresie chemii niezależnie od potężnego rozkwitu przemysłu nieorganicznego zaczyna dominować przemysł organiczny, a w tej dziedzinie wysuwa się na czoło przemysł wiel-

---

11 Winnacker K., Weingaertner E., *Organische Technologie* t. II, München 1952, str. 562.

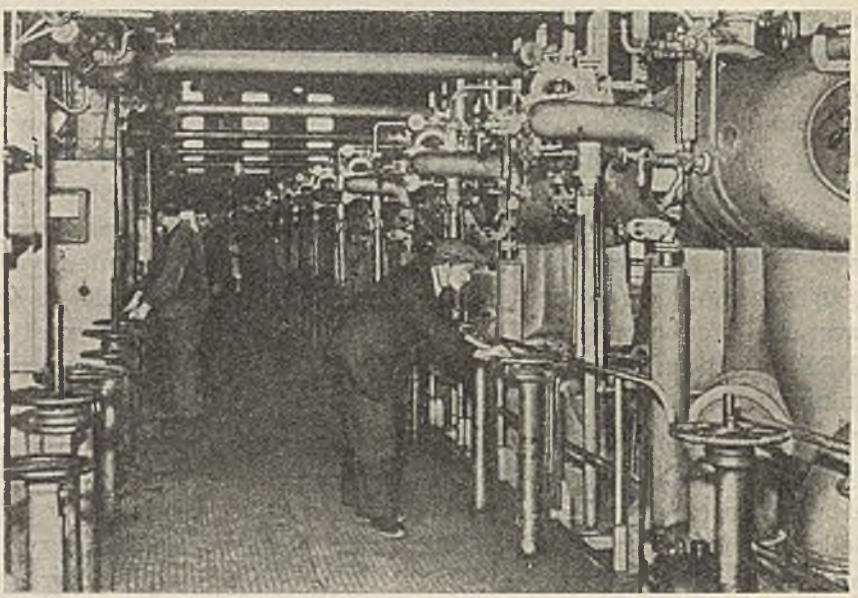
12 *Chemik*, 10 336 (1957).

kich syntez oparty o surowce petrochemiczne. Metody syntetyczne często katalityczne, czasem ciśnieniowe są dziś podstawą operacyjną nowoczesnej chemii przemysłowej. Zwycięskie zmaganie się tych metod zarysowało się szczególnie jaskrawo na tle rywalizacji pomiędzy wytwarzanym tradycyjnymi metodami mydłem i syntetycznie preparowanymi detergentami.

Światowa wytwórczość syntetycznych środków powierzchniowo czynnych przed wybuchem drugiej wojny światowej nie przekraczała 14 tys. ton, a więc rzędem wielkości odpowiadała czwartej części produkcji mydła w ówczesnej Polsce. W latach pięćdziesiątych obserwuje się nowe zjawisko: produkcja mydła we wielu krajach maleje. W 1957 r. wytwórczość mydła w porównaniu z r. 1956 spadła we Francji o 15%, w Belgii o 14%, w Holandii o 8%, w Norwegii o 7%, w Szwajcarii o 4% itd. Równocześnie światowa produkcja detergentów wzrasta zawrotnie szybko i już w 1957 r. osiągnęła 2,5 mln ton. Jeszcze bardziej znamiennym jest fakt, że według planu na r. 1960 sumaryczne zapotrzebowanie na środki piorące ma być pokryte w USA w 80% przez produkty syntetyczne, a w NRF w 75%; zużycie tradycyjnego mydła ulega więc coraz wyraźniej ograniczeniu.

Tak ciągnie się wielki, triumfalny pochód chemii na wszystkich polach pracy przetwórczo-przemysłowej. Jeżeli niewątpliwie słuszne jest twierdzenie, że obecną pozycję chemii przemysłowej wypracowała w cichym i wielkim trudzie nauka, to należy dodać obiektywnie, że pozycja ta została wzmocniona, utrwalona i rozbudowana przez fakt sprawnego zaspokojenia wielu ważkich potrzeb życiowych ludzkości przez przemysł chemiczny. Oto gdy powstała groźba rychłego wyczerpania kopalnych produktów azotowych w świecie, chemia otworzyła nowe i wysoce sprawne drogi syntezy związków azotowych, usuwając wszelkie obawy na tym niezwykle ważnym odcinku na najdalszą nawet przyszłość. Gdy ograniczona do określonych obszarów świata produkcja leków roślinnych stała się niewystarczająca, chemia dostarczyła praktycznie w nieograniczonych ilościach preparaty tak skuteczne i wartościowe, że dawne leki straciły dużą część swojego znaczenia. To samo powtórzyło się w zakresie barwników syntetycznych, witamin, hormonów, olejków eterycznych itp. Gdy kartel kamforowy zagroził zmonopolizowaniem tej produkcji naturalnej, chemia stworzyła kamforę syntetyczną. Gdy zaczęło wzrastać silnie zapotrzebowanie na cukier, kauczuk naturalny, włókna jedwabne i wełniane lub na fenole, glicerynę, aceton i wiele innych produktów, chemia zaopatrzyła rynki światowe w cukier buraczany, w kauczuk syntetyczny, w syntetyczne włókna, fenole itd. Gdy z rozwojem zapotrzebowania na energię cieplną i elektryczną, na paliwa specjalne do celów lotniczych czy motorowych zaczęły wyłaniać się przeróżne trudności

i braki, wówczas chemia oddała na usługi ludzkości nie tylko wiele nowych metod umożliwiających wytworzenia paliw o wszelkich wymaganiach jakościowych, lecz również przez odkrycie energii atomowej odsunęła na całe tysiąclecia obawy o wyczerpanie zasobów surowców energetycznych. Gdy wreszcie w nowych przemysłach mechanicznych i elektrotechnicznych zrodziły się nowe i specjalne potrzeby materiałowe, gdy



Fragment wytwórni benzyny syntetycznej

poprzez badania nad zjawiskami korozji uświadomiono sobie wielkość strat ponoszonych przez gospodarstwo światowe, chemia stworzyła i rozwinęła w stopniu najwyższym produkcję tworzyw sztucznych i materiałów pokrewnych. W imię tych samych wymagań, założeń i potrzeb rozwinięta została wytwórczość wielu nowych środków spożywczych, półproduktów organicznych, rozpuszczalników, metali nieżelaznych, pierwiastków rzadkich, gazów technicznych, środków powierzchniowo czynnych, wymieniaczy jonowych, lakierów, smarów, środków owadobójczych itd.

Zagadnienia chemii teoretycznej i praktycznej rozrosły się w ciągu bieżącego stulecia do tego stopnia, że w licznych przypadkach wyłoniła się konieczność lub potrzeba współpracy międzynarodowej. Dla nauki było ważne, aby powszechnie operować tymi samymi pojęciami i tymi samymi metodami badań analitycznych; dla przemysłu wyłania się konieczność znormalizowania niektórych produktów, urządzeń, opakowań, ustalenia warunków transportu różnych materiałów, zabezpieczenia czystości atmosfery i wód mających charakter międzynarodowy itd. W związ-

ku z tym powstawały liczne instytucje, działające stale lub okresowo, jak np. Międzynarodowy Komitet do Spraw Ciężarów Atomowych, Unia Chemii Czystej i Stosowanej, Komisja do Spraw Energii Atomowej lub Międzynarodowa Organizacja Nawozowa, Unia Przemysłu Gazowniczego, Kongres Chemii Analitycznej albo periodyczne konferencje międzynarodowe do spraw katalizy i reakcji katalitycznych, tworzyw sztucznych, kauczuku syntetycznego, metalurgii plutonu, materiałów wybuchowych, automatyzacji i wiele innych. Również zagadnienia pracy w przemyśle chemicznym są regulowane w ramach organizacji międzynarodowych.

W 1906 r. na Kongresie Chemii Stosowanej w Rzymie jeden z mówców powiedział [13]: „Głębokie przeniknięcie chemii do całego, tak olbrzymiego i tak skomplikowanego organizmu nowoczesnego społeczeństwa powinno uczynić z tej nauki główny czynnik gospodarki narodowej i obfite źródło pomyślności. Można też stwierdzić, że wszędzie tam, gdzie przemysł chemiczny osiągnął wyższy stopień rozwoju, spotyka się największą zamożność i najpowszechniejszy dobrobyt".

Istotne osiągnięcia chemii w ciągu następnych 50 lat przewyższyły wszystko to, czego można było spodziewać się w najśmielszej wyobraźni w roku 1906. Obecnie, lapidarne sformułowanie brzmi [14]: „Dla okresu, w którym żyjemy proponowano już wiele nazw, ale nie ma bardziej odpowiedniej niż Era Chemii, gdyż chemia wkracza obecnie we wszystkie dziedziny naszego życia: wszystko cokolwiek robimy, czegokolwiek używamy, cokolwiek jemy ma ścisły związek z chemią".

Dzieje chemii i przemysłu chemicznego biegną dalej naprzód! W tej dziedzinie nie ma ani stacji końcowej, ani stanu nasycenia, ani skrzepnięcia fali wielkiej ewolucji. Ujawniać się będą wciąż nowe motory, nowe siły, nowi ludzie o umyśle twórczym, aby w imię dobra ludzkości sterować tym statkiem ku lądom nowych wartości i nowych, historycznych zwycięstw.

---

[13] Moureu K., *Chemia i wojna*, Warszawa 1923 str. 200.

[14] Cragg L. H., Graham R. P. *Podstawy nowoczesnej chemii ogólnej*, PWT, Warszawa 1958, str. 23.

Rozdział XII

Rzut oka na rozwój chemii i przemysłu chemicznego na ziemiach polskich

Historyczna Polska nie miała ani w małej części tych obiektywnych warunków wszechstronnego rozwoju gospodarczego, ani tym bardziej podobnych bodźców do rozbudowy własnego przemysłu i wielkiego handlu międzynarodowego, którymi na przełomie czasów nowożytnych pulsowało tak silnie życie całej Europy zachodniej. Nie była ona usytuowana w samym centrum wymiany dóbr materialnych, środków płatniczych i wartości kulturalnych tak jak miasta włoskie w końcowym okresie Średniowiecza. Nie leżała ona na skrzyżowaniu wielkich, światowych dróg handlowych jak Anglia po odkryciu kontynentu amerykańskiego i jego niewyczerpalnych zasobów. Nie posiadała ona ani rządów, ani organizacji takiej jak Francja, gdzie od czasów Henryka IV aż po czasy Colbertów i Mazarinich krzewiono systematycznie z doktrynalną gorliwością wszechstronny rozwój własnego gospodarstwa narodowego. Stara Rzeczpospolita Polska nie brała bezpośrednio udziału w podziale złota i srebra monetarnego, które od początku XVI w. napływało coraz potężniejszymi strumieniami z wielu stron do krajów europejskich usadowionych nad brzegami Atlantyku i morza Północnego [1]; nie eksploatowała ona rozlicznych i cennych surowców, sił roboczych i produktów kolonialnych, jak Hiszpania, Portugalia, Francja czy Holandia; nie dysponowała potężną flotą handlową, ani rozwiniętym aparatem kredytowo-bankowym, ani tworzonymi pod egidą władców kompaniami handlowymi; wreszcie nie posiadała szczególnych podniet do rozwoju przemysłu chemicznego w postaci np. znacznej produkcji włókienniczej, jak to miało miejsce w wielu okręgach Europy zachodniej. A jednak wbrew temu stanowi rzeczy dorobek dawnej Polski w dziedzinie chemii teoretycznej i praktycznej nie może być ani lekcewa-

---

[1] Knight M. M. Barnes H., Flügel F., *Economic History of Europe*, Houghton Mifflin Co., Cambridge, Mass. 1928, str. 308—310.

żony, ani tym bardziej wytarty z kart historii. Osiągnięcia polskie w tej dziedzinie, szczególnie przed połową XVII w., są dość poważne, a w niektórych fragmentach nawet wybitne.

W zakresie pojęciowym i naukowym dwa zjawiska są bardzo znamienne dla stosunków panujących w Polsce pod koniec średniowiecza i na początku czasów nowożytnych. Po pierwsze niezaprzeczalnym faktem jest to, że nauki głoszone przez alchemików na zachodzie docierały niezwłocznie do Polski. Wyprzedzała ona pod tym względem wiele innych państw i narodów. W środowiskach akademickich Krakowa, ale również i w murach zakonnych już od połowy XV w. sprawy alchemii są szeroko dyskutowane, komentowane, a nawet badane i samodzielnie rozwijane. Tak np. Wincenty Koffsky, dominikanin, zmarły w 1488 r. w Gdańsku, pozostawił traktat alchemiczny pt. *De prima materia* drukowany w 1608 r. W stuleciu następnym zainteresowanie tymi zagadnieniami jest już w Polsce znacznie szersze. Ukazują się coraz liczniejsze przedruki i tłumaczenia (głównie na język łaciński) pism alchemicznych. W latach sześćdziesiątych XV w. ogłoszono drukiem kilka przekładów dzieł Paracelsusa. Zapoczątkowany na zachodzie przez Paracelsa jatrochemiczny kierunek badań znalazł żywy oddźwięk w Polsce [2]. Pod tym wpływem lekarze polscy — a miało ich być wówczas ok. pół tysiąca — zaczęli zwracać szczególną uwagę na krajowe źródła mineralne. Miało to swój konkretny oddźwięk również w dziedzinie publikacji. Oto np. lekarz Stefana Batorego, Wojciech Oczko ogłosił w 1578 r. traktat *O cieplicach;* w 1597 r. pojawiła się praca E. Syxta *O cieplicach w Szkle* oraz J. Sochinusa *De natura aquarum acidorum;* w 1630 r. ukazała się *Cenzura wody Iwonickiej,* a w pięć lat później J. Petrycego *O wodach w Drużbaku i Łęczkowej* itd. Publikacje typu chemicznego nie ograniczają się oczywiście tylko do tej tematyki. Zainteresowanie tym działem nauki i praktyki rozszerza się nieustannie. Wśród polskich ośrodków intelektualnych przoduje w tym czasie Kraków posiadający słynną Akademię, przyciągającą obcych studentów, wspaniale urządzone i rozwinięte drukarnie, znane i cenione szeroko poza granicami Polski, a przede wszystkim dwór królewski. W Krakowie więc ogłaszano drukiem różne traktaty naukowe, działali liczni alchemicy pochodzenia polskiego i obcego, były czynne pracownie alchemiczne. W zachowanych księgach podatkowych miasta spotyka się sporadycznie określenie zawodu płatnika jako *alchemiciusa.* Do grona wybitniejszych przedstawicieli nauk alchemicznych i publicystów tego okresu (XVI w.) zaliczali się m.in. A. Zuchta i Brettschneider w Gdańsku, E. Dembiński w Warszawie, J. Strusiek w Poznaniu, Leszczyński i Bojanowski w Lesznie; kilku innych działało

[2] Zawidzki J., *Roczniki Chem.* 1 (1921).

w Toruniu, w Lublinie, w Płocku itd. [3]. Również niejeden z obcych alchemików, gdy raz znalazł się w Polsce, osiadał tu na czas dłuższy lub nawet aklimatyzował się na stałe. Do tej grupy należeli J. J. Retyk, A. Dudycz, Schneeberger i in. Odwrotnie alchemicy narodowości polskiej przebywali i działali nie raz zagranicą. Odnajduje się i wiele innych dowodów zainteresowania się chemią w Polsce. Wspominano już w tej książce, że w 1609 r. powstała pierwsza katedra nauki chemii na uniwersytecie w Marburgu, a jej kierownictwo powierzono profesorowi Hartmannowi; w spisach lub kontraktach uczniowskich tej katedry figurują Polacy i Ślązacy [4]. Liczba adeptów alchemii rośnie więc stale w Polsce, a jednym z najznakomitszych był Michał Sędziwój (1566—1646) [5]. Uchodził on za wybitnego lekarza, a równocześnie za wszechstronnego przyrodnika, który usiłował zgłębić tajemnice przemian chemicznych. Miał on rzekomo popisywać się na dworze cesarza Rudolfa II w Pradze sztuką przemieniania innych metali w złoto, a jego dzieło pt. *Cosmopolitae Novum Lumen Chimicorum*, drukowane po raz pierwszy w 1605 r., doczekało się kilku wydań łacińskich, a ponadto było tłumaczone na język niemiecki, francuski i angielski.

Drugim ważnym i znamiennym faktem jest to, że w Polsce już w XVI w. odróżniano wyraźnie — co w Europie wcale nie było zjawiskiem powszechnym — pojęcie sztuk alchemicznych od chemii naukowej. Konstatuje to z całą jasnością np. A. Zuchta, który w swoim traktacie o antymonie siebie nazywa *chymicus*, gdy tych, którzy zajmują się sztuką przetwarzania innych metali w złoto, określa jako *alchymistae* [6].

Jeszcze ważniejsze jest może to, że równocześnie produkcja typu chemicznego jak na ową epokę osiągnęła w Polsce wysoki stopień rozwoju, a proces ten dokonał się całkowicie spontanicznie pod wpływem rosnących potrzeb i sił gospodarczych kraju [7]. Podkreślenie tego faktu jest tym konieczniejsze, że do czasu przeprowadzenia dokładniejszych badań nad rozwojem gospodarczym dawnej Rzeczypospolitej najzupełniej niesłusznie lekceważono te osiągnięcia.

Pierwszą podbudową tej produkcji była rozwinięta wszechstronnie produkcja wielu ważnych surowców. Sól kamienną wydobywano w Wieliczce systemem górniczym już od XI w. W okręgu krakowskim i poznań-

---

3 Hubicki W., *Kosmos, Alchemia i chemia w Polsce w XVI w.* zesz. 1 (21), 17 (1960).

4 Ganzenmüller W., *Beiträge zur Geschichte der Technologie*, Chemie Verlag, Weinheim 1956 str. 317.

5 Bugaj R., *W poszukiwaniu kamienia filozoficznego, o M. Sędziwoju*, PWN. Warszawa 1957.

6 Hubicki W., *op. cit.*

7 Baranowski Ig. *Przemysł Polski w XVI wieku* M. Arct, Warszawa 1919.

skim istniały od dawna piece do wypalania wapna, ałunu zaś dostarczała Czerwona Ruś. Ponadto dysponowano znaczniejszymi ilościami saletry, którą częściowo wywożono zagranicę. Popiół drzewny, potaż i dziegieć oraz znaczne ilości węgla drzewnego wytwarzały kresy wschodnie, ale i w okolicach Jędrzejowa, Małogoszczy, w lasach sandomierskich rozwinęło się na większą skalę smolarstwo, wyrób mazi i potażu. Przez komorę we Włocławku przechodziło Wisłą w drodze do portu gdańskiego w latach 1537—1576 średnio w ciągu roku ok. 2500 łasztów (łaszt polski = 30 korcy) popiołu i ok. 200 łasztów smoły na eksport[8]. Kopalnie siarki istniały w Swoszowicach koło Krakowa i w kilku innych miejscach. Nie trudno też było o skóry surowe, oleje, tłuszcze i inne surowce rolnicze. W oparciu o własne rudy wydobywane w Olkuszu i Chęcinach lub w Kielcach i Sławkowie rozwinięto na początku XVI w. produkcję metali kolorowych; huty ołowiu i srebra funkcjonowały w Tarnowskich Górach i w Rabsztynie, miedź wytapiano w Mogile koło Krakowa, a mosiądz wytwarzano w okolicy Olkusza. Agricola w swoim słynnym dziele opisuje dokładniej polską metodę przetwarzania rud ołowiu [9].

Do dużego rozwoju doprowadzono w tych czasach hutnictwo szkła, mające w Polsce dobre i dawne tradycje. Już na początku XIV w. powstały znaczniejsze huty szklane np. w Poznaniu ok. 1310 r., w Szklarach koło Krakowa w 1329 r. W XVI w. było już szeroko rozpowszechnione w Polsce stosowanie okien szklanych. W kraju istniało w tym czasie ok. 30 hut szklanych, koncentrujących się głównie koło Lanckorony, Krakowa, Częstochowy, Muszyny, Radoszyc, Szydłowca i in. Huty te wytwarzały w znacznych ilościach szkło taflowe do okien, a także flaszki, szklenice i kieliszki oraz różne przedmioty ze szkła kolorowego. Podobnie i garncarstwo doszło do wysokiego poziomu technicznego; wytwarzano piękne białe i kolorowe polewy, stosując do tego różne sole chemiczne, a produkty te zwykle poprzez Gdańsk docierały na odległe nawet rynki zbytu. Do gałęzi przemysłu chemicznego, które już od XV w. rozwijały się w Polsce najświetniej trzeba zaliczyć papiernictwo i garbarstwo [10]. W XVI w. czynnych było ok. 20 wytwórni papieru rozsianych dookoła Krakowa, Poznania, Lublina i Warszawy. Najprzedniejsze gatunki papieru pochodziły z fabryki Tęczyńskich w Krzeszowicach, Miechowitów w Grembienicach, Bonerów w Bonarce i w Babicach. Spore ilości papieru wywożono z Polski za granicę, głównie na Węgry, a także na Litwę i Białoruś. Rozwinięty znacznie przemysł garbarski koncentrował się głównie w Krakowie, Poznaniu, Radomiu, Przemyślu i Lwowie. W Pozna-

[8] Rutkowski I., *Historia Gospodarcza Polski*, t. I, Księgarnia Akademicka, Poznań 1946.

[9] Hubicki W., *op. cit.*

[10] Baranowski I. *op. cit.*

niu, w drugiej połowie XVI w., liczono 75 warsztatów czerwono- i biało-skórniczych, a w Krakowie — jak podaje I. Baranowski — było ich więcej niż dwa razy tyle. W tym czasie wytwarza się nawet najwykwintniejsze materiały, safiany i kurdybany [11]. Taka np. wytwórnia safianów w Zamościu słynęła w świecie, a po zaspokojeniu potrzeb rynku wewnętrznego, dość znaczne ilości tych skór wywoziła na Węgry. Garbarnie krakowskie zaś wysyłały rocznie po kilkadziesiąt tysięcy skór zamszowych na zachód, do krajów niemieckich i Francji.

W tym czasie istniały również w Polsce dość liczne olejarnie, mydlarnie, prochownie, zakłady barwienia tkanin i in. zaliczające się do działu chemicznego; ponadto w niektórych laboratoriach chemików lub aptekarzy wytwarzano i sprzedawano kwasy mineralne, sole, preparaty lecznicze itp. Tak np. przy barwieniu tkanin podobnie jak w innych krajach stosowano u nas oprócz różnych barwników naturalnych, sprowadzanych przeważnie z zagranicy, liczne zaprawy i chemikalia pochodzenia krajowego. Najczęściej jako zaprawę stosowano potaż wyługowany z popiołów lub ałun, siarczany cynku, miedzi, żelaza itp. W wielu takich warsztatach przetwórczych posługiwano się wówczas urządzeniami mechanicznymi wcale nie gorszymi niż na zachodzie Europy.

Niestety odtąd będzie się powtarzać na ziemiach polskich dość uporczywie złowieszcze zjawisko: gdy tylko poziom cywilizacyjny i gospodarczy zaczyna dochodzić do stanu względnego powodzenia i rozwoju, wówczas wypadki zewnętrzne: najazdy, wojny, przemarsze obcych wojsk powodują zahamowanie lub nawet cofnięcie się wstecz pomyślnej i ze wszech miar pożądanej ewolucji pokojowej. Taki właśnie wyraźny i nagły przełom nastąpił w Polsce w połowie XVII w. W atmosferze walk i najazdów nie tylko dokonał się prawdziwy pogrom większości warsztatów pracy, ale ponadto został sparaliżowany zapowiadający się tak świetnie dalszy rozwój nauk i piśmiennictwa. Dotyczyło to wszystkich dziedzin działalności twórczej, a więc także i chemii. Pewną oazą postępu i zainteresowania się naukami chemicznymi jest w tym czasie Gdańsk. Ukazują się tam różne nowe publikacje o treści chemicznej, przeważnie przedruki obcych prac, a sporadycznie i opracowania oryginalne. Do takich należy np. ceniony w tych czasach podręcznik Jakuba Barnera pt. *Chymia Philosophica* wydany w 1698 r.

Skoro jednak życie w kraju powróci choćby częściowo na pewien okres do równowagi, wówczas niezwłocznie poczynają kiełkować nowe, twórcze i jakże żywotne siły. Jest to zjawisko niezmienne i powtarzające się w Polsce wielokrotnie. Taki właśnie proces regeneracyjny rozwinął się w Polsce w połowie XVIII w. Tylko że sytuacja w drugiej połowie tego

---

11 Rutkowski I., *op. cit.* t. I., str. 168.

stulecia — gdy idzie o sprawy chemii — była już nieco inna niż w okresach ubiegłych. Przede wszystkim więc budzi się teraz zrozumienie, że wstępem do produkcji chemicznej są pracownie doświadczalne i naukowe, a studia teoretyczne muszą wyprzedzać o pewien dystans wszelkie poczynania techniczno-przemysłowe. Jest zaś sprawą znamienną, że i te nowe tendencje tak szybko znajdują zrozumienie w Polsce. Wyrazem tego są m. in. coraz liczniejsze i ściślejsze kontakty z nauką światową. Niebawem pod koniec lat sześćdziesiątych XVIII w. powołane zostaje do życia Warszawskie Towarzystwo fizyko-chemiczne, które od razu podejmuje akcję na rzecz powiązania nauki z programem uprzemysłowienia kraju. W 1769 r. publikuje ono cytowane często *Uwagi*, w których zaleca założenie w Polsce odpowiedniej pracowni chemiczno-naukowej. Towarzystwu nie idzie o postulat zgłaszany w imię rozwoju wyłącznie badań teoretycznych; podkreśla ono z naciskiem, że pracownia taka powinna przeprowadzać badania i studia, które umożliwiłyby w niedalekiej przyszłości zakładanie w kraju *„manufaktur y fabryk"*, bez których „państwo, chociaż w naturalnych skarbach obfitujące albo ubożuchnym będzie, albo przynajmniej tak bezwładnym, iż w nieuchronną napędza się ruinę". Równocześnie rozwija się w kraju ponownie żywsza działalność publicystyczna, przy czym nie trudno stwierdzić, że szczególnie wszystkie nowości głoszone przez wybitnych naukowców zagranicznych budzą żywy oddźwięk w umysłach polskich. Tak więc Józef Osiński ogłasza dwie prace, w 1777 r. pt. *Fizyka doświadczeniami potwierdzona* i w 1783 r. pt. *Gatunki powietrza;* w 1787 r. Trzciński publikuje rozprawę pt. *Nauka o napuszczaniu woc'y powietrzem kwaskowym*, a w 1791 r. ukazuje się w tłumaczeniu z łaciny na język polski podręcznik profesora uniwersytetu w Strasburgu Jakuba Spielmanna *Nauka chymiczna*. Podjęto tu pierwszą próbę tworzenia zaczątków polskiego słownictwa chemicznego. W ramach Szkoły Głównej krakowskiej i wileńskiej kreowane zostały pierwsze katedry nauki chemii. W szkole krakowskiej wykłada od 1782 r. wybitny profesor, lekarz, chemik, botanik i mineralog Jan Jaśkiewicz (1748—1809), w Wilnie zaś Włoch z pochodzenia Józef Sartoris; w obu przypadkach wykłady odbywały się głównie w języku łacińskim; podobnie jak większość uczonych chemików i fizyków owego czasu obaj profesorowie stali w zasadzie na gruncie teorii flogistonowej, Jaśkiewicz jednak cytuje niejednokrotnie wyniki prac *Lavoisiera*. W parę lat później Franciszek Scheidt w Krakowie, a ks. Józef Osiński w Warszawie propagują już wyraźnie — w języku ojczystym — rewolucyjne poglądy i twierdzenia Lavoisiera.

Okres połowicznej normalizacji stosunków politycznych i gospodarczych był jednak tym razem zbyt krótki, aby mogły powstać i umocnić się poważniejsze zakłady przetwórcze z zakresu chemii. Można jednak

zanotować, że w tym okresie nastąpił dość znaczny rozwój manufaktur tkackich, a łącznie z tym i farbiarni. W małej części posługiwano się barwnikami pochodzenia krajowego, głównie zaś dowożonymi z Ameryki Południowej i z Indii. W użyciu były więc różne drzewa farbiarskie oraz indygo, marzanna, urzet, gallas, sumak, rezeda, szafran i kilka innych. Częściowo rozbudowane zostało w tym czasie garbarstwo, hutnictwo szklane oraz ceramika, mydlarnie, prochownie, a przede wszystkim metalurgia; pisma ekonomiczne z okresu Sejmu Czteroletniego podsuwały nawet myśl utworzenia w okolicach *Sędomirza* — jak pisano — nowego okręgu przemysłowego. Do nielicznych i cennych nowości tego okresu można zaliczyć kilka fabryk porcelany (np. w Korcu) oraz wytwórnię fajansów belwederskich.

Następne ćwierćwiecze przynosi najdotkliwsze ciosy podrywające na przyszłość same podstawy pomyślnego rozwoju gospodarki polskiej. Dość znaczny obszar uzupełniający się surowcowo zostaje rozbity na trzy małe, peryferyjne i izolowane szczelnie od siebie fragmenty państw zaborczych. Materialne znaczenie faktu podziałów ujawni się w całej rozciągłości dopiero w drugiej połowie XIX stulecia; na razie w wyniku wojen i ciągłych zmian politycznych dokonuje się na ziemiach polskich proces gwałtownego cofania się nauki i zamierania subtelniejszych gałęzi produkcji wbrew nadludzkim wysiłkom niektórych jednostek. Dopiero po 1816 r. sytuacja na ziemiach polskich zaczyna nieco się normalizować, a w konsekwencji ujawniają się nowe siły i koncepcje twórcze, nowe zastępy ludzkie, które podejmują z uporem zadanie rekonstrukcji i rozbudowy gospodarki narodowej. Te wysiłki i dla chemii przynoszą w pewnej mierze pozytywne wyniki. Najkorzystniej kształtuje się sytuacja w Królestwie Kongresowym; ma ono dość szeroki samorząd i może realizować niektóre własne plany rozwojowe. W znacznie gorszej sytuacji znajdują się zabory austriacki i pruski. Naczelną tendencją Prus jest całkowite uzależnienie okręgów polskich od prowincji rdzennie niemieckich i w miarę możliwości — przynajmniej zewnętrzne — zgermanizowanie nowo przyłączonych obszarów. Toteż ani wyższych szkół polskich, ani rozwiniętej sieci przemysłowej okręgi te w myśl tendencji pruskich nie powinny posiadać. Podobną postawę zajmują początkowo władze austriackie w Galicji. Każdy przejaw mogący potencjalnie wzmocnić żywioł narodowy polski był tępiony z samej zasady. Ileż wymowy ma np. fakt następujący. W 1823 r. Sejm Stanowy zgłosił postulat założenia na terenie Galicji akademii technicznej, uważając słusznie, że jest to powolna, ale niezawodna droga podźwignięcia kraju z dna biedy i upadku. Rząd centralny sprzeciwił się jednak tej myśli, zaznaczając w odpowiedzi, że cztery stypendia ustanowione dla młodzieży polskiej zakwalifikowanej

przez władze do studiów na politechnice wiedeńskiej powinny wystarczyć dla Galicji.

Trzeba jednak wspomnieć o znamiennym fakcie, że na wiele lat przed jakąkolwiek stabilizacją warunków politycznych i gospodarczych w Europie, a zwłaszcza na ziemiach polskich, pierwsze wyraźne sygnały odradzania się nauki polskiej i polskiej chemii odezwały się nie w rdzennych ośrodkach kultury narodowej na zachodzie, lecz na wschodzie, w Wilnie. Tu właśnie na przełomie XVIII i XIX-go w. powstały i spiętrzyły się tak wielkie i wszechstronne wartości twórcze, że musiały wyżłobić niezatarte ślady w dziejach kultury polskiej. W tym środowisku znalazł się też wybitny filozof, lekarz, przyrodnik, a przede wszystkim chemik Jędrzej Śniadecki (1768—1838), który stał się zdecydowanym głosicielem nowo-

Jędrzej Śniadecki

czesnej chemii w Polsce i który przez potomnych — jak pisze W. Lampe — nazwany został praojcem chemii polskiej [12]. Śniadecki studiował początkowo medycynę w Krakowie; na dalsze studia udał się do Włoch, gdzie miał możność poznania działalności naukowej tak wybitnych jednostek, jak Volta i Galvani. Tam też w Pawii uzyskał doktorat medycyny i filozofii. W dalszych wędrówkach naukowych dotarł do Anglii, pracował w Londynie, a w Edynburgu zetknął się z objawami zaciętych sporów pomiędzy starymi wyznawcami teorii flogistonowej i młodymi zwolennikami poglądów Lavoisiera. Śniadecki stanął od razu w szeregu wyznawców nowej nauki, wiążąc równocześnie i własne zamiłowanie coraz silniej z chemią. Po powrocie do kraju Jędrzej Śniadecki obejmuje w 1797 r. katedrę chemii i farmacji na Uniwersytecie Wileńskim, a sława jego rzeczowych wykładów, głoszonych piękną polszczyzną rozchodzi się

12 *Roczniki Chem.* 24, 3 (1950).

szybko po całym kraju i przyciąga wielu nowych adeptów tej nauki. Jego wykłady zebrane zostały w dwutomowym dziele pt. *Początki chemii stosownie do teraźniejszego tey umiejętności stanu, dla pożytku uczniów i słuchaczów ułożone*, wydanym w Wilnie, w drukarni „Akademickiey" w 1800 r. Była to pierwsza, oryginalna i udana w dużej części próba wyłożenia zasad chemii w języku polskim zgodnie z najnowszymi poglądami i osiągnięciami, związana oczywiście z koniecznością tworzenia nie istniejącego jeszcze w pełni polskiego słownictwa fachowego. Dzieło to doczekało się wznowienia w latach 1807, 1816—17, przy czym wydanie ostatnie zostało rozszerzone i uzupełnione teoriami Berzeliusa. W latach zaś 1804—1811 Jędrzej Śniadecki wydał nową oryginalną pracę *Teoria jestestw organicznych* (2 tomy), która była kilkakrotnie przekładana na języki obce. Szereg mniejszych prac uzupełnia jego wybitną działalność publicystyczną. Śniadecki był i jest uważany za jednego z najwszechstronniejszych i najwnikliwszych uczonych europejskich tego okresu, a wyrazem jego zasług było m. in. powołanie na członka Warszawskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk.

Jest zrozumiałe, że w utworzonym Królestwie Kongresowym tendencje regeneracyjne i rozwojowe przejawiły się z siłą znacznie większą. W tym przypadku w okresie 1816—1830 r. istniała możliwość harmonizowania pionierskich poczynań społecznych lub indywidualnych z tendencjami i polityką władz rządowych. Pod wpływem twórczych bodźców podsycanych przez założone w 1800 r. Towarzystwo Przyjaciół Nauk w Warszawie w wyniku uporczywej akcji uświadamiającej Stanisława Staszica, pod energicznym naciskiem ministra skarbu Druckiego-Lubeckiego zaczął formować się w różnych miejscach kraju nowy i bardziej nowocześnie zorganizowany i wyposażony przemysł. Również pomoc świeżo kreowanego Banku Polskiego okazała się w tych dziedzinach nad wyraz owocna. Tak dokonał się zdumiewająco błyskawiczny rozwój przemysłu bawełnianego w Łodzi i w innych ośrodkach, tak powstawały cynkownie w zagłębiu Dąbrowskim, wzrastało planowo wydobycie węgla i rud metali. Zakładane były nowe zakłady hutnicze, metalurgiczne, maszynowe i oczywiście chemiczne. Ta atmosfera przesycona twórczością gospodarczą była korzystna dla rozwoju nauk technicznych, z chemią i technologią chemiczną włącznie. Toteż w latach dwudziestych ubiegłego wieku podjęto z największym zapałem i z głębokim zrozumieniem myśl stworzenia w Warszawie Instytutu Politechnicznego z tym uzupełnieniem, że w fazie wstępnej miałaby funkcjonować techniczna Szkoła Przygotowawcza. Aby w całej pełni ocenić ówczesne zamiary i decyzje, należy przypomnieć, że wprawdzie istniały już w świecie nieliczne szkoły politechniczne, np. w Paryżu czy w Wiedniu, ale najsłynniejsze później uczelnie europejskie formowały się dopiero w tym czasie. Tak więc poli-

technika w Glasgow uruchomiona została w 1820 r., w Londynie w 1824 r. w Monachium w 1827 r., w Karlsruhe w 1832 r., w Zurychu w 1851 r. w Petersburgu w 1861 r. a w Charlottenburgu w 1879 r. [13]. Inicjatywa polska była więc w całkowitej harmonii z dążeniami najżywotniejszych i najbardziej postępowych środowisk intelektualnych w Europie. Bardzo dobrze rozumiano w ówczesnej Warszawie, że sprawy politechniki nie można załatwić prawidłowo ani samym dekretem, ani nawet odpowiednią dotacją budżetową. Z inicjatywy rządowej Komisji Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego powołano więc do życia w 1823 r. Radę Politechniczną, mającą trzy główne zadania do spełnienia: opracowanie statutu organizacyjnego i programu studiów, przygotowanie stojącej na wymaganym poziomie kadry profesorskiej i wreszcie przysposobienie wstępne odpowiedniego zespołu młodzieży przygotowanej do nowego typu nauk technicznych. Na czele tej Rady stanął sam Staszic, a po jego śmierci w 1826 r. Ludwik Plater. Do składu Rady należeli m.in. wytrawny pedagog Adam Kitajewski (1789—1837) profesor chemii czynnego już od 1818 r. Uniwersytetu Warszawskiego oraz Jan Krzyżanowski, profesor fizyki i chemii w Szkole Artylerii. Idąc śladami wytkniętymi jeszcze przez H. Kołłątaja, który jako wizytator Komisji Edukacji Narodowej rozwinął planową akcję wysyłania kandydatów na nauczycieli jako stypendystów zagranicę, Rada postanowiła wytypować kilkunastu młodych naukowców, absolwentów Uniwersytetu i wysłać ich na dłuższy pobyt zagranicę, w celu rozszerzenia zakresu swoich wiadomości. Czerpiąc wiedzę z najlepszych w owym czasie źródeł kandydaci mieli więc kształcić się na przyszłych profesorów Instytutu Politechnicznego.

Potrzeby chemii, a zwłaszcza technologii chemicznej, były w tym planie uwzględnione dość szeroko. Niebawem jako stypendyści udali się zagranicę na studia: Jan Koncewicz (1795—1869) magister nauk matematyczno-fizycznych były asystent profesora Kitajewskiego, przeznaczony na katedrę technologii środków spożywczych (chemia fermentacyjna, cukrownictwo); Antoni Hann (1796—1861) magister nauk przyrodniczych, asystent Kitajewskiego, mający poświęcić się studiom chemii i technologii organicznej (farbiarstwo, garbarstwo, mydlarstwo itd); Seweryn Zdzitowiecki (1802—1880) magister chemii i mineralogii, kładący w swoich studiach zagranicznych szczególny nacisk na ogólną chemię nieorganiczną, chemię analityczną oraz technologię chemiczną rud i metali; wreszcie najmłodszy z nich Teofil Rybicki (1805—1859), magister chemii, miał poświęcić się ogólnej technologii chemicznej. Zadanie swoje stypendyści wykonywali sumiennie i z poczuciem odpowiedzialności, a niektó-

[13] Kalusiński T., *Chemik* **13**, 1960; **14** (1961). Monografie w zakresie Dziejów Nowożytnych. Tom VI. Rodkiewicz A. J. Pierwsza Politechnika Polska, 1825—1831. Kraków i Warszawa, 1904.

re sprawozdania z prowadzonych prac, np. Zdzitowieckiego, były wzorowo dokładne. Przeszli oni przez wszystkie najznakomitsze i słynne wówczas pracownie chemiczne w Europie: w Wiedniu, Paryżu, Londynie, Getyndze, Giessen, Berlinie, Edynburgu, zatrzymywali się na dłuższy pobyt w Szwajcarii, Belgii, Holandii i w Anglii.

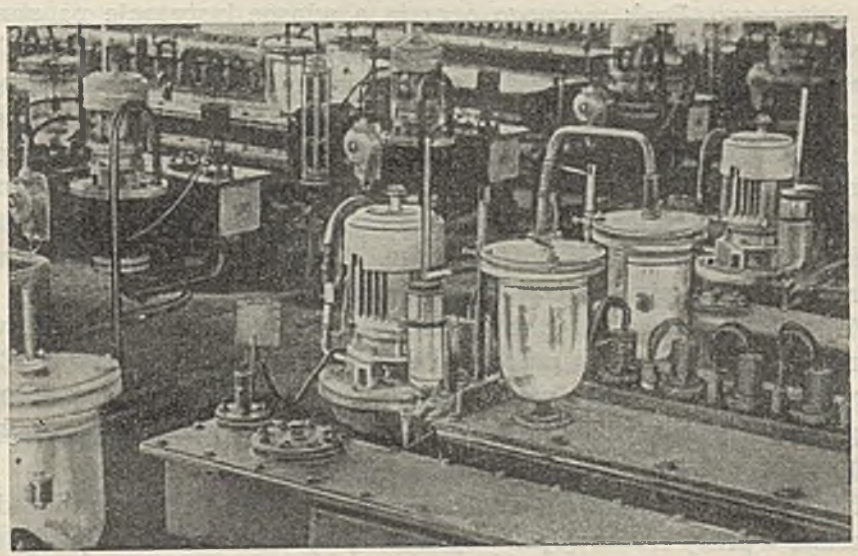
Tymczasem w 1826 r. otwarta została w Warszawie Szkoła Przygotowawcza do Instytutu Politechnicznego, która pomimo różnych trudności materialnych i lokalowych prowadziła sprawnie dzieło przygotowywania zastępów młodzieży do najwyższych studiów technicznych. Wykłady odbywały się na razie w salach uniwersytetu, a ćwiczenia praktyczne dla zaawansowanych chemików były zorganizowane w przygodnym budynku. Ale już w 1828 r. Szkoła uzyskała swój własny lokal. Od jesieni tego roku zaczęli obejmować swoje funkcje naukowe powracający z zagranicy stypendyści; najpierw Jan Koncewicz objął katedrę chemii stosowanej, a w roku następnym rozpoczęli wykłady i ćwiczenia nowi profesorowie Zdzitowiecki i Hann. Rybicki powrócił do kraju tuż przed wybuchem powstania we wrześniu 1830 r. i został mianowany profesorem Szkoły Przygotowawczej.

Niezależnie jednak od tego, tak pieczołowicie przygotowanego zespołu, krzewiło w kraju chemię i wielu innych nauczycieli i profesorów, spośród których niejeden pozostawił cenny dorobek naukowy. Do takich należeli np. Józef Skrodzki, Marek Pawłowicz, Józef Celiński, a przede wszystkim Aleksander Chodkiewicz (1776—1838), technolog-organik, który opracował i wydał drukiem obszerny i ceniony podręcznik chemii. Również poza Warszawą nauka chemii w zakresie szkół średnich była postawiona niekiedy na wysokim poziomie. Tak np. w Kielcach istniało dość dobrze wyposażone laboratorium chemiczne, założone przez dawnego nauczyciela chemii w Konwikcie pijarskim na Żoliborzu, ks. Andrzeja Polejowskiego. W tym czasie począł ożywiać się ruch inwestycyjny w zakresie przetwórstwa chemicznego. Powstawały i rozwijały się garbarnie, papiernie, mydlarnie, farbiarnie, fabryki kwasu siarkowego a w 1829 r. uruchomiona została na terenie Królestwa pierwsza cukrownia.

Tak pomyślnie zarysowujący się proces ewolucyjny, zapewniający na przyszłość skutki jak najbardziej pozytywne został załamany, a częściowo unicestwiony w zarodku, gdy w 1831 r. upadło powstanie listopadowe. Nie ma tu miejsca na analizowanie rozlicznych, ujemnych dla chemii konsekwencji. Wystarczy może stwierdzenie, że wszystkie instytucje naukowe wyższego rzędu zostały karnie zlikwidowane, a zgromadzone w murach Szkoły Przygotowawczej z takim nakładem czasu i pieniędzy, świetnie zapowiadające się talenty twórcze zostały bezmyślnie rozproszone i pozbawione właściwego warsztatu pracy. Czyż nie wymowny

jest fakt, że po powstaniu profesor Hann stał się intendentem mennicy, Zdzitowiecki nauczycielem gimnazjalnym w Lublinie, Koncewicz nauczycielem w Szczebrzeszynie, a następnie w Kielcach, Rybicki zaś nauczycielem w Łukowie. A jednak pozostały ślady, że byli stypendyści Komisji Oświecenia Publicznego zostali obiektywnie i umiejętnie wybrani. Hann m. in. wypracował technikę rytowania na szkle przy użyciu fluorowodoru, Zdzitowiecki obok wydania doskonałego, dwutomowego podręcznika *Wykład początkowy chemii* (1850—51) zapisał się w historii jako gorący i rozumny propagator chemii rolniczej i tłumacz słynnego dzieła Liebiga *Chemia z zastosowaniem do rolnictwa i fizyologii*, Koncewicz drukował pionierskie monografie z zakresu technologii fermentacyjnej, Rybicki zaś rozwinął dość wszechstronną działalność publicystyczną i pozostawił po sobie dobrze opracowany podręcznik pt. *Zasady Technologii Chemicznej*.

Na okres następny, obejmujący lata 1831—1880, przypada w świecie pierwszy wielki zryw w zakresie chemii czystej i stosowanej. Ten pewnego rodzaju proces eksplozji twórczej odbija się na ziemiach polskich tyl-



Zakłady Azotowe w Tarnowie: elektrolizery

ko słabymi i fragmentarycznymi refleksami. Coraz więcej Polaków-chemików, nie znajdując niezbędnego dla siebie warsztatu pracy naukowej, podejmuje znacznie trudniejszą działalność w ramach obcych instytucji naukowych i gospodarczych. Można tylko domniemywać ile polskich wysiłków i talentów ulegało w takich warunkach spętaniu lub nawet zmarnowaniu. Los Filipa N. Waltera (1810—1847), wybitnego organika, samodzielnego badacza, wychowanka uniwersytetu Jagielońskiego (profe-

sora J. Markowskiego), dojrzałego kandydata na profesora wyższej uczelni, jest słabą tylko ilustracją tego twierdzenia. Po powstaniu listopadowym, w którym brał udział, Walter wyemigrował do Francji i tam pracował naukowo, głównie w paryskim laboratorium J. Dumasa. Odkrył takie związki, jak toluen, kumen, dwufenyl, a z produktów destylacji ropy naftowej wydzielił węglowodory naftenowe. Entuzjazmował się myślą współdziałania przy tworzeniu nowych fabryk chemicznych w Polsce, ale zmarł nie doczekawszy takiej możliwości. Wyraźnym śladem jego związku z nauką polską jest praca: *Wykład nomenklatury chemicznej polskiej* opublikowana w 1844 r. Inny wybitny organik Jakub Natanson (1832—1884), uczeń Zdzitowieckiego, pracował jako chemik w Dorpacie. W 1856 r. na kilka tygodni przed syntezą moweiny przez Perkina ogłosił w „Annalen der Chemie u. Pharmazie" pracę o powstawaniu barwnika (nazwanego później fuksyną) przy ogrzewaniu aniliny z chlorkiem etylenu. Dopiero w 1862 r. Natanson mógł powrócić do Warszawy, gdzie w nowo utworzonej Szkole Głównej uzyskał katedrę chemii. W cztery lata później wydał drukiem *Wykład chemii organicznej podług systemu unitarnego*. Brak mocnego oparcia o własne instytucje państwowe, uniwersytety, politechniki, instytuty badawcze, wydawnictwa naukowe i czasopisma fachowe a nawet o własne organizacje przemysłowe powodował, że rezultaty twórczej pracy polskich uczonych traciły na znaczeniu, a wszelka akcja zmierzająca do uświadomienia znaczenia przemysłu chemicznego dla unowocześnienia struktury gospodarczej kraju przynosiła tylko połowiczne skutki. W istocie rzeczy suma wkładu polskiej pracy na odcinku chemii była dość znaczna. Można przykładowo tylko wskazać na szeroką akcję publicystyczno-propagandową takich pisarzy i chemików, jak J. Bełza, A. Radwański, A. Rogalewicz, J. Pankiewicz, S. Zdzitowiecki[14] lub na prace naukowe L. Teichmana, który w 1853 r. odkrył hematynę, A. Freunda, który przeprowadził syntezę ketonów, z rop galicyjskich wydzielił i oznaczył węglowodory aromatyczne, badał sulfopochodne fenoli itp.

Trzeba jednak wyraźnie stwierdzić, że sprawa braku odpowiednich warsztatów pracy naukowej nie była ani jedyną, ani może najważniejszą z przyczyn sparaliżowania normalnego rozwoju przemysłu chemicznego na ziemiach polskich. Równocześnie działało wiele hamulców i to dość skutecznych. Tak np. same linie podziałowe oddzielały surowce i niektóre ważne materiały wyjściowe od potencjalnego odbiorcy. Takie surowce, jak sól, naftę, wosk, gaz ziemny, papierówkę, ziemniaki i spirytus posiadał w nadmiarze zabór austriacki, praktycznie bez możliwości wyzyskania ich w całej pełni na miejscu. Górny Śląsk obfitował w węgiel

[14] Zawidzki J. *Roczniki Chem.*, **1**, 43 (1921).

energetyczny i koksujący, w smołę węglową, benzol, odpadkowy kwas siarkowy i ubocznie uzyskiwane związki azotowe, mając okresowo trudności co do zbytu tych materiałów. Tymczasem uprzemysłowiona dość znacznie Kongresówka nie posiadała ani soli, ani produktów naftowych, ani węgla koksującego, ani taniego kwasu siarkowego tj. podstawowych surowców będących fundamentem rozwoju produkcij chemicznej. Jednym z drastycznych przykładów tego spętania są wieloletnie i bezskuteczne zabiegi sfer przemysłowych Kongresówki o zezwolenie władz austriackich na czerpanie za oznaczoną opłatą solanki z okręgu Wieliczki dla projektowanej na terenie Kongresówki fabryki sody będącej niezbędnym materiałem pomocniczym dla przemysłu włókienniczego. Również skasowanie Banku Polskiego w Warszawie i niedopuszczenie przez czas dłuższy do powstania samodzielnej i poważnej instytucji bankowej na terenie Galicji stało się jedną z głównych przyczyn późniejszego wtargnięcia nie zawsze pożądanych kapitałów obcych na teren Polski.

Niemniej jednak zachodzi proces naturalnego rozwoju i postępu technicznego w różnych gałęziach przemysłu przetwórczego Kongresówki. Do szczególnie ważnych aktywów gospodarczych trzeba zaliczyć dwa następujące fakty: po pierwsze rozwinięty został na wielką skalę przemysł lniany, przy czym Żyrardów zatrudniający w 1865 r. ok. 1250 robotników był największą fabryką płótna lnianego na kontynencie Europy[15]. Pośrednio nie pozostało to bez wpływu na rozwój przemysłu chemicznego. Drugim znamiennym faktem jest rozwój polskiego cukrownictwa w Kongresówce. W 25 lat po uruchomieniu pierwszej na tym terenie cukrowni, tj. w 1854 r., wytworzono 276 tys. pudów cukru w 55 istniejących fabrykach; w 1869 r. kampania cukrownicza dostarczyła już 1200 tys. pudów a w 1897 r. 6,4 mln pudów.

Wchłonięcie zachodnich dzielnic Polski przez Prusy miało dla istniejącego tam przemysłu początkowo skutki katastrofalne. Przemysł Wielkopolski pracował dla rynku polskiego i nie mógł konkurować z silniejszym kapitałowo i organizacyjnie, a do tego uprzywilejowanym administracyjnie przemysłem pruskim. Szczególnie po wprowadzeniu w 1821 r. wysokich ceł ochronnych w Królestwie i w Rosji wiele działów przemysłu w zaborze pruskim utraciło rację bytu. Tak np. liczba warsztatów tkackich w Poznańskim między 1819—1861 r. spadła do jednej szóstej części; podobnie stało się w zakresie przemysłu chemicznego. Rząd pruski, który w tym czasie ustosunkował się raczej pozytywnie do rozwoju rolnictwa na ziemiach polskich, patrzył niechętnie jeżeli nie wrogo, na wszelkie polskie poczynania w zakresie przemysłowym. Znany jest fakt

---

[15] Rutkowski J., *Historia Gospodarcza Polski*, t. II, Księgarnia Akademicka, Poznań 1950 str. 97.

stwarzania różnych trudności administracyjnych, które miały zniechęcić polską grupę Romana Maya do budowy niedużej fabryki superfosfatu w Starołęce; gdy jednak R. May swój zamiar doprowadził do skutku, wówczas władze spowodowały budowę wielkiej, konkurencyjnej fabryki przez niemiecki koncern M. Milcha w Luboniu pod Poznaniem.

Najcięższy był stan gospodarczy w zaborze austriackim. Mieszkańcy Galicji stanowili w 1842 r. 28,7% całej ludności „korony austriackiej", ale przemysł galicyjski zaledwie przekraczał wówczas 3% przemysłu Austrii. Każda próba choćby fragmentarycznego usamodzielnienia się skazana była na niepowodzenie, nie mając za sobą oparcia prawnego, administracyjnego, finansowego, ani nawet technicznego. Zagadnienie stworzenia za wzorem Kongresówki własnego przemysłu cukrowniczego jest dostatecznie jaskrawym przykładem. Pierwsza mała cukrownia typu rolniczego powstała w Galicji w 1826 r.; dopiero w 1838 r. założono większą cukrownię przemysłową w Tłumaczu. W 1842 r. funkcjonowało w zaborze austriackim już 9 cukrowni, przeważnie małych i źle technicznie urządzonych. Jeszcze w tym samym dziesięcioleciu wszystkie zostały zlikwidowane pod naporem konkurencyjnym dużych, przemysłowych cukrowni czeskich. W zakresie nauk chemicznych kilka nazwisk zyskało pewien rozgłos w Galicji. W Krakowie wykłady chemii prowadzili profesorowie J. Markowski i J. Sawiczewski, we Lwowie szerszą działalność rozwinął chemik-aptekarz Teodor Torosiewicz (1789—1876), który ogłosił drukiem kilkadziesiąt rozpraw, kładąc szczególny nacisk na badania i eksploatację krajowych wód mineralnych. Rok 1844 przyniósł wreszcie ważną i upragnioną decyzję — władze centralne wyraziły ostatecznie zgodę na stworzenie Akademii Politechnicznej we Lwowie. Był to dla społeczeństwa polskiego sukces o wielkim znaczeniu.

W niecałe 10 lat później zaszedł inny przełomowy fakt, dla tej dzielnicy. Było nim śmiałe zapoczątkowanie eksploatacji i zastosowania ropy podkarpackiej, związane na trwałe z nazwiskiem Ignacego Łukasiewicza (1822—1882). Od XVI w. podkarpacki „olej skalny" był stosowany do smarowania osi, do impregnacji, a nawet jako lekarstwo — jednak materiałem o dużej użyteczności technicznej stała się ropa naftowa w niemałej mierze dzięki pionierskiej inicjatywie i niespożytej energii Łukasiewicza.

Za młodu przeszedł on dość normalne koleje młodego Polaka; w latach 1847—48 siedział w więzieniu austriackim za udział w ruchu wolnościowym; następnie oddawał się gorliwie studiom na wydziale farmaceutycznym uniwersytetu krakowskiego i wiedeńskiego. Po tym powrócił do Lwowa i tu w 1852 r. destylując ropę naftową uzyskał obok bardzo lotnej frakcji benzynowej, jasny i lekki produkt olejowy, naftę. W roku następnym przy współpracy blacharza lwowskiego Bratkowskiego

skonstruował pierwszą sprawnie działającą lampę naftową. Dnia 31 lipca 1853 r. szpital łyczakowski został oświetlony jako pierwszy gmach na świecie lampami naftowymi. Odtąd nafta na przeciąg kilkudziesięciu lat zaczęła systematycznie wypierać inne, prymitywniejsze sposoby oświetlenia. Niebawem również ratusz praski i austriacka kolej północna posługiwała się nowym oświetleniem. W 1856 r. Tytus Trzecieski, Ignacy Łukasiewicz i Wiktor Klobassa założyli spółkę, która zbudowała pierwszą, dość prymitywną, destylarnię ropy w Ulaszowicach koło Jasła. Na-

Ignacy Łukasiewicz

stępna powstała w majątku Trzecieskiego w Polance[16]. Wreszcie w 1865 r. zbudowano nowocześniejszą, zaprojektowaną przez Łukasiewicza destylarnię w Chorkowie[17]. Szereg innych zagadnień bądź to technologicznych, bądź nawet czysto górniczych rozwiązał pomyślnie ten zawodowy i wyjątkowy farmaceuta. Polepszył jakość nafty przez chemiczne oczyszczanie destylatu oraz wprowadził na Podkarpaciu system głębokich wierceń świdrowych. Odtąd rozwój podkarpackiego przemysłu naftowego, rafineryjnego oraz zapoczątkowanej w 1815 r. eksploatacji wosku ziemnego w okolicach Borysławia szedł raźno naprzód. Ok. 1870 r. stosowano już szeroko smary naftowe uzyskiwane przy przerobie ropy galicyjskiej; w 1884 r. zagadnienie naftowe miało już tak znaczny ciężar gatunkowy, że sejm galicyjski uchwalił pierwszą ustawę naftową. W tym

[16] Bartoszewicz S., *Przemysł naftowy w Polsce*, Odb. z „Polski Gospodarczej".
[17] Pfanhauser J., *Przemysł chem.* str. 102 (1929).

samym roku wprowadzony został przez Mac-Garveya kanadyjski system wierceń głębokich, który po udoskonaleniu przez inżynierów polskich Wolskiego, Zdanowicza, Fabiańskiego, Mikuckiego i in. był stosowany w najdalszych nawet zakątkach świata. Gdy zaś główne trudności zostały pokonane i pionierska praca w tej dziedzinie została uwieńczona powodzeniem, oraz gdy produkcja ropy poczęła szybko wzrastać, wówczas przy życzliwym nastawieniu władz austriackich kapitały obce poczęły rugować słabe finansowo przedsiębiorstwa rodzime.

Następny okres trzydziestokilkoletni przyniósł całej Europie centralnej względną równowagę i stabilizację warunków gospodarczych. Toteż pomimo trwania nadal podstawowych trudności rozwojowych we wszystkich trzech zaborach sprawy chemii posunęły się teraz dość znacznie naprzód. Przede wszystkim szkoły wyższe na terenie Galicji pozyskały na profesorów wybitnych naukowców i dobrych organizatorów. Na uniwersytecie lwowskim już od 1872 r. działał Bronisław Radziszewski (1838—1884) wybitny organik, który stworzył wzorowe na owe czasy laboratorium chemiczne[18] i metodami swojej pracy unowocześnił tę naukę. Osobiście wykonał szereg twórczych i ważnych dla przemysłu organicznego prac dotyczących np. chlorowcowania węglowodorów. Na początku XX w. podjął wykłady na tym uniwersytecie wybitny i ceniony w świecie uczony Marian Smoluchowski (1872—1917), który prowadząc fundamentalne prace z zakresu fizykochemii nadawał swoim dowodzeniom i wnioskom nowe, matematyczne ujęcie. W parę lat później przybył do uniwersyteckiego grona wykładowców chemii płodny badacz i pisarz Stanisław Tołłoczko. Wielkiej miary uczonych zdobyła w tym czasie politechnika lwowska. Jednym z nich był Tadeusz Godlewski (1878—1931), uczeń Arrheniusa i współpracownik Rutherforda[19], który wykonał szereg prac z zakresu promieniotwórczości aktynowców. Wydziałem chemicznym politechniki kierowali wówczas Stefan Niementowski (1866—1925) wybitny organik i pedagog, najwszechstronniejszy technolog Bronisław Pawlewski, mykolog Wiktor Syniewski i in. W wyższej szkole rolniczej w Dublanach chemię ogólną wykładał Jan Zaleski, późniejszy profesor chemii farmaceutycznej i toksykologii na uniwersytecie warszawskim. Również uniwersytet Jagielloński miał na przełomie wieków świetny zespół profesorski w zakresie chemii i fizyki. Z pomiędzy wielu należy wspomnieć przede wszystkim Zygmunta F. Wróblewskiego (1845—1888) i Karola Olszewskiego (1846—1915), którzy w latach osiemdziesiątych przeprowadzili skroplenie takich gazów, jak tlen, azot, tlenek węgla, uważanych dotąd za gazy nie ulegające skropleniu. Po tragicznej śmier-

[18] Wawrzyczek W., *Twórcy Chemii*, PWT. Warszawa 1959 str. 325.
[19] Klemensiewicz Z., *Roczniki chem.*, 3, 192 (1923).

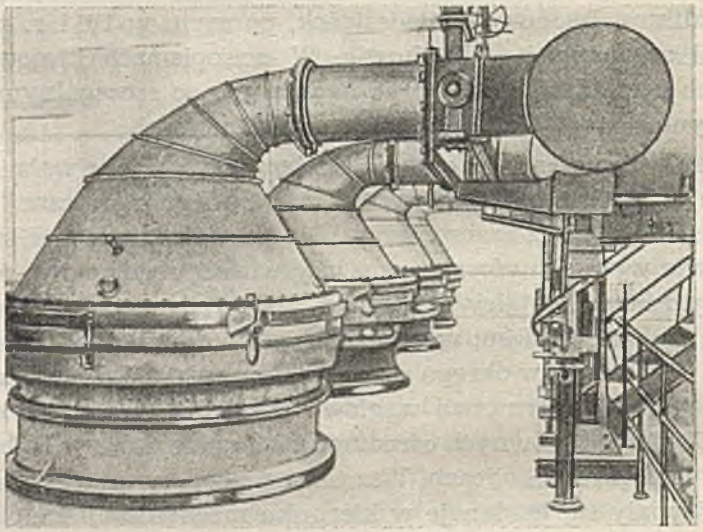
ci profesora Wróblewskiego[20], Olszewski kontynuując pionierskie dzieło, wykonał szereg fundamentalnych oznaczeń z zakresu temperatur i ciśnień krytycznych wielu gazów oraz niektórych właściwości takich związków, jak etylen, fosforowodór, fluorowodór itp. W dziedzinie chemii organicznej dwóch uczonych profesorów krakowskich zyskało szerokie uznanie. Byli nimi: Leon Paweł Marchlewski (1869—1946) oraz Karol Dziewoński (1878—1943). Marchlewski, profesor chemii lekarskiej, przeprowadził zasadnicze badania nad chlorofilem i jego chemicznym pokrewieństwem z hemoglobiną, ustalił budowę szeregu barwników grupy antrachinonowej, w okresie międzywojennym był prezesem Polskiego Towarzystwa Chemicznego, a także współtwórcą instytutów rolniczych w Puławach i w Bydgoszczy[21]. Dziewoński główną uwagę skierował na zagadnienia związane z syntezą barwników organicznych. Po studiach pracował w znanych centrach chemii barwników i ich zastosowania, jak Fryburg, Miluza, Iwanowo-Wozniesieńsk, po czym w 1911 r. objął katedrę chemii organicznej w Krakowie. W czasopismach krajowych i zagranicznych ogłosił ponad 100 prac naukowych ze szczególnym uwzględnieniem syntez węglowodorów wielopierścieniowych.

Na terenie Kongresówki energia społeczna wyładowywała się przede wszystkim w dziedzinie gospodarczej. Hasło „pracy organicznej" zataczało w społeczeństwie coraz szersze kręgi. Na przełomie wieków istnieją już w Królestwie wyraźnie uformowane trzy wielkoprzemysłowe okręgi. Nowoczesny przemysł metalowy, instalacyjny i elektrotechniczny rozwinął się w okręgu warszawskim; w okręgu łódzkim dominował przemysł włókienniczy i chemiczny; w okręgu sosnowieckim rozrosło się dobrze zorganizowane technicznie górnictwo węglowe oraz metalurgia, włókiennictwo i chemia. Obok tych głównych ośrodków tworzą się nowe w Lublinie, Częstochowie, Radomiu i okolicach. Wszędzie, a więc i w przemyśle chemicznym, przejawiały się tendencje w kierunku mechanizacji i elektryfikacji procesów przetwórczych oraz wprowadzania naukowej kontroli ruchu i osiąganych wydajności. Dawało to dość poważne wyniki praktyczne. Przykładem może być silnie rozwinięte cukrownictwo, gdzie w ostatnim dziesięcioleciu XIX w. średnia wydajność cukru z tony przerobionych buraków wzrosła o kilkanaście procent. Sporadycznie pojawiają się też niezwykle odważne inicjatywy m. in. również w dziedzinie chemii. Wspaniałym przykładem takiego pionierstwa była działalność inż. Jana Sniechowskiego, który po przypadkowym zaznajomieniu się z dziejami rozkwitu przemysłu barwnikowego w Niemczech, postanowił — bez fachowego przygotowania, pomocników, kapitałów — zapoczątkować tę pro-

[20] Pawlikowski S., *Powietrze i woda rządzą chemią*, str. 25.

[21] *Roczniki Chem.* 22, 1 (1948).

dukcję w Polsce. W 1889 r. uruchomił więc pierwszą „wytwórnię" barwników syntetycznych w Łodzi, w której sam był robotnikiem, buchalterem, inżynierem ruchu i kierownikiem w jednej osobie; produkcja miała powodzenie i systematycznie wzrastała. Niebawem Śniechowski uzyskał współpracę i pomoc drugiego fanatyka tej produkcji Ignacego Hordliczki, co umożliwiło podniesienie technicznego wyposażenia tej wytwórni. Po wypracowaniu własnej metody produkcji — obok kilku innych — czarnego barwnika siarkowego, firma ta pod nazwą „Boruta" przeniosła się do Zgierza, gdzie utrzymała się mimo silnej konkurencji niemieckiej. Obecnie Zakłady „Boruta" oczywiście po uwielokrotnieniu nakładów inwestycyjnych, są głównym ośrodkiem syntezy barwników w Polsce. Równolegle do dynamiki rozwojowej przemysłu zaczął obficiej napływać na teren Kongresówki kapitał zagraniczny: belgijski,



Utleniacze amoniaku w fabryce w Tarnowie

francuski, angielski i głównie niemiecki. Tak np. już od połowy ubiegłego wieku coraz większą rolę odgrywało Niemieckie Kontynentalne Towarzystwo Gazownicze w Dessau, które uzyskało od ówczesnych władz carskich długoletnie koncesje na budowę i eksploatację gazowni w Warszawie. Przy gazowni warszawskiej powstały fabryki chemiczne przetwarzające amoniak i smołę węglową.

W tej atmosferze postępu technicznego i rozrastania się kadr fachowych odradzała się z zastoju również polska publicystyka chemiczna. W tej dziedzinie doniosłą rolę odegrał niestrudzony bojownik o rozwój nauk przyrodniczych, a zwłaszcza chemii, Bronisław Znatowicz (1851—1917). Pod jego redakcją zaczęło wychodzić w Warszawie od 1882 r.

czasopismo naukowo-przyrodnicze pod nazwą „Wszechświat", które spopularyzowało wielkie zagadnienia chemii w najszerszych kołach społeczeństwa polskiego. Znatowicz kierował redakcją tego pisma przez lat trzydzieści, a jego osobiste zasługi dla chemii polskiej są szczególnie duże. W 1888 r. powstała pierwsza organizacja chemików polskich, oczywiście pod szyldem strawnym dla ówczesnych władz administracyjnych, tj. jako Sekcja chemiczna przy „Warszawskim Oddziale Towarzystwa popierania rosyjskiego przemysłu i handlu". Obrady tej Sekcji toczyły się w języku polskim, a w 21 lat później Sekcja przekształciła się w „Koło Chemików", które przyłączyło się do Polskiego Stowarzyszenia Techników. Od 1901 r. również pod redakcją B. Znatowicza zaczęło wychodzić nowe czasopismo fachowe „Chemik Polski".

Powyższy obraz musi być uzupełniony jeszcze historią dorobku polskich chemików pracujących poza granicami kraju. Ślady ich działalności można odnaleźć w najodleglejszych nawet zakątkach świata. Trzeba więc z konieczności ograniczyć się do pozycji o największym „ciężarze gatunkowym".

Jedną z czołowych osobistości jest niewątpliwie Marceli Nencki (1847—1901), profesor chemii fizjologicznej na wydziale lekarskim w Bernie szwajcarskim, a od 1890 r. kierownik Instytutu Biologii Doświadczalnej w Petersburgu. Zasłynął on zarówno jako wybitny uczony, jak i pedagog, który zaprawiał uczniów do samodzielnych badań eksperymentalnych. Osiągnięcia naukowe Nenckiego są duże; dokonał syntezy wielu ważnych leków, w tym np. salolu, utlenił indol do indyga, pracował nad produktami kondensacji mocznika z aldehydem mrówkowym i przeprowadził badania nad barwnikiem krwi i jego pochodnymi. W 1890 r. katedrę chemii organicznej na uniwersytecie berneńskim objął inny wybitny Polak, Stanisław Kostanecki (1860—1910). Jego badania w zakresie syntezy barwników miały znaczenie podstawowe. To on wskazał na ścisłą zależność pomiędzy chemiczną budową związków, a ich zdolnością barwienia włókien. Przeprowadził też wiele nowych syntez organicznych i wyjaśnił strukturę szeregu barwników. Był prezesem Szwajcarskiego Towarzystwa Chemicznego, a od 1905 r. członkiem Akademii Umiejętności w Krakowie.

W dziedzinie technologii jedno mało znane nazwisko zasługuje szczególnie na wspomnienie. Ferdynand Edward Polzeniusz, urodzony w 1862 r. w Warszawie, po uzyskaniu doktoratu chemii na uniwersytecie w Dorpacie[22], pełni funkcje chemika w wytwórni akumulatorów w Frankfurcie n. Menem. Tam zainteresował się sprawą wiązania azotu przez karbid i trudnościami przeprowadzenia tego procesu na skalę tech-

[22] Kuszewski J., *Chemik*, **11** (1958).

niczną. Polzeniusz pierwszy przezwyciężył w 1901 r. te trudności azotując węglik wapnia wobec katalizatorów, co zezwoliło na znaczne obniżenie temperatury reakcji[23]. Wyzyskaniem patentu zajęły się „Polzenius-Werke in Westeregeln" koło Magdeburga, które pierwsze rzuciły na rynek w 1905 r. partię azotniaku. Pod naciskiem konkurencyjnej metody Franka i Caro produkcję w Westeregeln zlikwidowano w 1911 r., Polzeniusz powrócił wówczas do kraju i pracował w Doświadczalnym Zakładzie Rolniczym Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, gdzie opracował rozprawę o azotniaku. Przed wybuchem pierwszej wojny światowej objął katedrę chemii ogólnej na uniwersytecie w Tomsku i tam prawdopodobnie zakończył życie.

Uczonym wielkiej miary i odkrywcą był Ignacy Mościcki (1867—1946). Po studiach na wydziale chemicznym w Warszawie, Rydze i Londynie przyjmuje 1897 r. stanowisko asystenta-profesora fizyki we Fryburgu Józefa Wierusza-Kowalskiego. Od 1901 r. dysponując specjalną pracownią oddaną do jego dyspozycji przez władze kantonalne, poświęca się całkowicie studiom nad zagadnieniem syntezy kwasu azotowego przez wiązanie azotu i tlenu atmosferycznego w łuku elektrycznym. Gdy napotyka na przeróżne trudności techniczne, rozwiązuje najbardziej skomplikowane zagadnienia, wychodzące daleko po za granice chemii. W 1903 r. prace nad tematem zasadniczym są już tak dalece zaawansowane, że zapada decyzja budowy odpowiedniej instalacji przemysłowej. Ale wówczas opublikowano dane o osiągnięciach badaczy norweskich Birkelanda i Eydego, pracujących nad tym samym tematem[24]. Wyniki Norwegów są korzystniejsze, toteż Mościcki odradza Szwajcarom budowanie fabryki na podstawie swoich dotychczasowych osiągnięć. Podejmuje natomiast nowe wysiłki, które mają na celu ulepszenie własnej metody. Niebawem patentuje nowe typy pieców, w których stosuje wirujący płomień łuku elektrycznego o wysokim napięciu. W 1908 r. spółka „Aluminium-Industrie A. G., Neuhausen" przystąpiła do budowy większej wytwórni kwasu azotowego metodą Mościckiego w Chippis. W 1910 r. jest to pierwsza w świecie fabryka wytwarzająca syntetyczny, stężony kwas azotowy z azotu i tlenu powietrza; w latach następnych produkcja Chippis została znacznie zwiększona. Mościcki w 1912 r. zostaje powołany na katedrę elektrochemii i chemii fizycznej politechniki lwowskiej i rozwija szeroką działalność naukową i organizacyjną w zakresie chemii. Rozwiązał wówczas szereg zagadnień technologicznych, m. in. syntezę cyjanowodoru, rozdział emulsji naftowych metodą ciągłą, regenerację olejów smarowych, stabilizowanie gazoliny itp. W 1916 r. Mościcki stwo-

[23] Ullmann F., *Enzyklopädie der Techn. Chemie*, t. III. Wyd. I. str. 206.

[24] Mościcki I., Roczniki Chem. 2, 126 (1922).

rzył pierwszy zawiązek instytutu badawczego „Metan" i przy czynnej współpracy naukowej K. Klinga i W. Leśniańskiego zainicjował wydawanie miesięcznika o tej samej nazwie „Metan". Pismo to zostało nieco później przekształcone w miesięcznik o szerszych zainteresowaniach i zostało nazwane „Przemysł Chemiczny". Mościcki był też głównym promotorem uruchomionego w 1922 r. i następnie pod kierunkiem Z. Martynowicza tak wspaniale rozwiniętego Chemicznego Instytutu Badawczego w Warszawie. W połowie 1922 r. Mościcki powołany został na stanowisko naczelnego dyrektora przejętej na Śląsku Państwo-

Ignacy Mościcki

wej Fabryki Związków Azotowych w Chorzowie, gdzie opracował cały szereg nowych rozwiązań technologicznych, doprowadzając ten potężny warsztat pracy — wbrew rozlicznym trudnościom i przeciwdziałaniom usuniętej administracji niemieckiej — do pełnego rozkwitu i powodzenia. Mościcki ogłosił ok. 20 prac drukiem, uzyskał 26 patentów polskich, 22 patenty zagraniczne, był członkiem honorowym wielu towarzystw naukowych krajowych i obcych i jednym z pierwszych technologów w świecie, który rozwiązał pozytywnie zadanie wiązania azotu atmosferycznego z tlenem powietrza.

Tematy pracy Marii Skłodowskiej-Curie (1867—1934), uczonej o sławie wszechświatowej, nie były tak zróżnicowane. Po studiach warszawskich odbywanych pod kierunkiem tak wybitnych profesorów, jak J. J. Boguski i N. Milicer, Skłodowska wyjechała w 1891 r. na dalsze studia do Paryża. Gdy ogłoszone zostały pierwsze wyniki prac Becquere-

LA nad zjawiskiem promieniotwórczości uranu, SKŁODOWSKA poświęciła cały swój zapał naukowy i całe swoje życie dla zgłębienia tego zagadnienia. Trzeba było jednak opracować samodzielnie wszystko od samych podstaw: od zdobycia i zabezpieczenia dużych ilości rudy uranowej, przez znalezienie właściwych metod przetwórczych, metod rozdzielania znikomo małych ilości substancji promieniotwórczej od potężnego balastu ciał obcych, a wreszcie zbudowania odpowiednich aparatów aż do wypracowania subtelnych metod analitycznych i badawczych. Najbliższym towarzyszem tych prac stał się niebawem jej mąż, wybitny fizykochemik, Piotr CURIE. W przeprowadzonych badaniach stwierdzili oni, że blenda uranowa wykazuje wyższą promieniotwórczość niż uran metaliczny: wnioskowali stąd słusznie, że w rudzie znajduje się nierozpoznana silnie promieniotwórcza substancja. To przypuszczenie potwierdziło się niebawem w całej pełni. Tak odkryte zostały nowe substancje promieniotwórcze nazwane przez małżonków CURIE polonem i radem. Wrażenie tych odkryć, a jeszcze bardziej ich naukowych, a później również praktycznych konsekwencji, było w całym świecie tak wielkie, że niezwłocznie całe zastępy najwybitniejszych fizyków i chemików poświęciło się badaniu promieniotwórczości. W 1906 r. po tragicznej śmierci Piotra CURIE, Maria SKŁODOWSKA-CURIE została powołana jako pierwsza kobieta na katedrę fizyki i zagadnień promieniotwórczości w Sorbonie. SKŁODOWSKA otrzymała dwukrotnie w 1903 i 1911 r. nagrodę Nobla za prace i odkrycia w dziedzinie chemii. Z jej inicjatywy powstał w 1912 r. pierwszy Instytut Radowy w Paryżu, a w 20 lat później analogiczny Instytut w Warszawie, który wyposażyła w dużą ilość radu (1 gram), złożonego jej w darze i hołdzie przez społeczeństwo amerykańskie.

Tak oto z biegiem lat wzrastał i różniczkował się wciąż dorobek polski w dziedzinie chemii. Z każdym dziesięcioleciem przybywały nowe zastępy czynnych chemików, nowych i twórczych talentów i pełnych inwencji pionierów postępu przemysłowego. J. ZAWIDZKI oceniał, że liczba Polaków zajmujących się sprawami chemii, którzy od XV wieku do końca pierwszej wojny światowej wyryli pewien ślad w historii tej nauki, wynosi nie mniej niż trzy tysiące osób. W czołowym czasopiśmie chemicznym tego okresu *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* naukowcy polscy ogłosili w latach 1869—1918 przeszło tysiąc oryginalnych prac. Toteż w ramach syntetycznego szkicu o dziejach chemii polskiej nie mieści się już to wszystko, co godne jest zanotowania. Teraz dziesiątki pokrewnych faktów sprowadzać trzeba do jednego mianownika, a różne zagadnienia łączyć w jednorodną całość.

Tak samo należy potraktować skutki pierwszej wojny światowej, gdyż dokładniejsza analiza rozsadziłaby ramy niniejszego opracowania. Całość ziem polskich znalazła się przecież w bezpośrednim promieniu działań

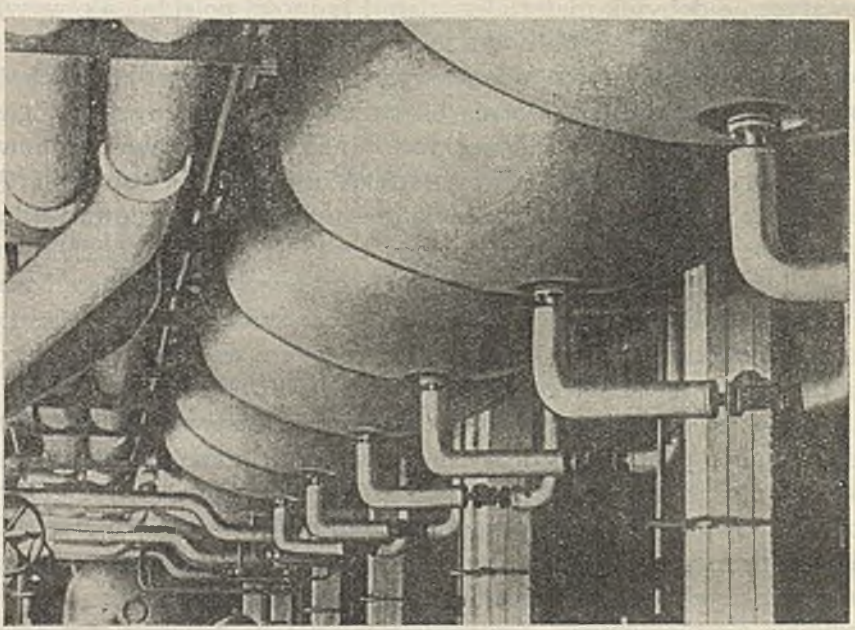
wojennych. Twórcza praca naukowa została więc z miejsca sparaliżowana. Szczególnie przemysł chemiczny uległ najdotkliwszym dewastacjom. Niemieckie władze okupacyjne zarekwirowały albo zdemolowały wszystko, co przedstawiało choćby potencjalną wartość. Przykładowo można przytoczyć, że z terenu Kongresówki wywieziono wówczas m. in. 4259 motorów elektrycznych i silników, 3844 obrabiarek, 100 tys. ton armatury i maszyn produkcyjnych, prawie wszystkie kable miedziane, transmisje, pasy itd.[25] W szczególności z fabryk chemicznych zarekwirowano ok. 4 tysiące wagonów produktów gotowych, 400 wagonów ołowiu z rozebranych komór w fabrykach kwasu siarkowego. Nie tylko niszczono systematycznie dobytek materialny ziem i ludności polskiej, ale wywłaszczono również, gdzie się dało, dorobek intelektualny. W różnych przedsiębiorstwach chemicznych żądano wydania metod przetwórczych i tajemnic fabrycznych[26]. Wytwórnię barwników syntetycznych w Zgierzu, konkurującą z wyrobami niemieckimi, zniszczono prawie całkowicie, a barwniki znajdujące się w magazynach oblano benzyną i spalono. Urządzenia jednych fabryk jeszcze na początku wojny ewakuowano do cesarstwa, inne unieruchomiono z powodu braków surowca, kabli, maszyn, motorów lub paliwa, a inne wreszcie zniszczono w czasie działań wojennych doszczętnie. Listopad 1918 r. zastał polską produkcję chemiczną w stanie nieopisanej ruiny i chaosu. Do tego proces odbudowy zaczynał się na tle zdewastowanego rolnictwa i górnictwa, zburzonych dróg i mostów, bez jakichkolwiek odszkodowań, natomiast przy obciążeniu Polski częścią długów państw zaborczych, przy coraz szczelniejszym odcinaniu się rynków państw zaborczych dla których przemysł polski częściowo pracował, przy pozostawieniu w obiegu sześciu bezwartościowych walut i całkowitym zdestruowaniu aparatu kredytowego, z posagiem, pięciu systemów prawnych, czterech odmiennych ustrojów gospodarczych, trzech odśrodkowo usytuowanych — zgodnie z interesami trzech państw zaborczych — systemów komunikacyjnych. Tylko jedna nadzieja mogła ożywiać ówczesne umysły polskie: teraz nastąpi era trwałego pokoju, a żadna ślepa siła już więcej nie będzie w stanie niszczyć ludzi i owoców ich pracy.

Podstawowym kapitałem programu „regeneracji" chemii byli ludzie: sumienni, aktywni i wyszkoleni fachowo. Ściągali oni do własnego kraju i własnych ruin ze wszystkich zakątków świata i niezwłocznie przystępowali do pracy. Najczynniejsze siły zgromadziły się w murach wyższych uczelni, politechnik i uniwersytetów. Już dnia 29 czerwca 1919 r. w audytorium chemicznym politechniki warszawskiej odbyło się pierwsze ze-

[25] *„Zniszczenia wojenne i odbudowa Polski"*, Warszawa 1929. Nakładem tygodnika. *Przemysł i Handel.*

[26] Zamoyski T., *Przemysł Chem.* 144 (1929).

branie organizacyjne Polskiego Towarzystwa Chemicznego. Na przewodniczącego zarządu powołano Leona Marchlewskiego, na zastępców i członków ludzi tak wybitnych i tak oddanych sprawie rozwoju chemii, jak J. Zawidzki, S. Niementowski, I. Mościcki, K. Dziewoński i in. Równocześnie Włodzimierz Płużański, chemik-kolorysta, człowiek o niespożytej energii i głębokim zmyśle społecznym, utworzył bardzo ruchliwą Sekcję Popierania Rozwoju Przemysłu Chemicznego przy PTCh. Niebawem powołana została do życia Państwowa Rada Chemiczna, a Izby Ustawodawcze zaczęły nie tylko unifikować ustawodawstwo gospodarcze, ale i wprowadzać pewien ład do chaosu gospodarki pozaborczej, powo-



Wytwórnia kauczuku syntetycznego w Oświęcimiu

jennej, a czasem i do rabunkowego systemu obcych kapitałów. Przykłady takiej celowej ingerencji przejawiły się np. w odniesieniu do przemysłu naftowego i gazów ziemnych (ustawa o gospodarce gazem ziemnym z inicjatywy pos. H. Diamanda).

W styczniu 1920 r. ukazał się pierwszy numer miesięcznika pt. Przemysł Chemiczny, a w roku następnym podjęły swoją owocną działalność Roczniki Chemii. Podnoszony wielokrotnie postulat utworzenia Chemicznego Instytutu Badawczego został zrealizowany na początku 1922 r. na skutek zabiegów I. Mościckiego. Z upływem lat wytworzyła się tu istna kuźnia doniosłych prac twórczych. W Instytucie pod kierownictwem W. Świętosławskiego przepracowano najgruntowniej tematy dotyczące polskich węgli, procesów koksowania i wytlewania itd.; pod kierownic-

twem L. Wasilewskiego opracowano szereg aktualnych zagadnień z zakresu technologii nieorganicznej i elektrochemii; w innym dziale przy współpracy K. Smoleńskiego, pracownicy naukowi Instytutu W. Szukiewicz i S. Kiełbasiński rozwiązali zagadnienie produkcji butadienu z alkoholu etylowego i polimeryzacji butadienu do kauczuku. Niejedna z tych prac przyniosła niemałe praktyczne rezultaty. Np. rozdzielanie emulsji ropnych, odprowadzanych dawniej do ścieków i rzek, metodą wypracowaną przez Instytut zezwoliło na odzyskanie w ciągu 10 lat ok. 60 tys. ton ropy.

Kazimierz Smoleński

Bilans osiągnięć chemii w okresie międzywojennym zestawiła najwymowniej A. Dorabialska[27]. Tak więc na pięciu uniwersytetach, dwóch politechnikach, czterech innych wyższych uczelniach Polska w 1939 r. posiadała 54 katedry związane bezpośrednio z chemią; ponadto dysponowała trzema instytutami naukowymi, kilkoma wzorowymi pracowniami badawczymi w zakładach przemysłowych oraz tak wysoko postawionymi zakładami specjalnymi, jak np. pracownia radiologiczna Warszawskiego Towarzystwa Naukowego, kierowana przez L. Wertensteina. Pracami naukowymi w wyższych uczelniach kierowali tak znakomici i oddani nauce badacze, jak Kazimierz Smoleński (1876—1943) organik i technolog o szerokiej skali zainteresowań naukowych, który jako jeden z pierwszych w świecie zwracał uwagę na surowcowe znaczenie węglowodorów olefinowych[28], Wojciech Świętosławski, czołowy polski fizyko-chemik, który umiał wiązać najistotniejsze zagadnienia teoretyczne ze sprawami

[27] *Roczniki Chem.* 25, 20 (1946).

[28] *Przemysł Chem.* 201, 237 (1921); 250, 281 (1922); 146 (1927).

nowoczesnej technologii chemicznej i który w swojej ponad 50-letniej działalności naukowej ogłosił w języku ojczystym i w językach obcych ok. 400 prac drukiem i uzyskał kilkadziesiąt patentów; Józef Zawadzki (1886—1951)[29], który ugruntował samodzielnie i rozwinął metodykę technologii nieorganicznej, opartej mocno i trwale na podłożu nauk teoretycznych. Takich ludzi o wielkim przygotowaniu naukowym, głębokim instynkcie wychowawczym i nieprzeciętnym zmyśle organizacyjnym miała w tym czasie chemia polska spory zastęp. Fizykochemią np. zajmowali

Wojciech Świętosławski

się wówczas profesorowie: M. Centnerszwer, K. Jabłczyński, B. Kamieński, S. Glixelli, J. Hłasko, W. Kemula, A. Dorabialska i in.; w zakresie chemii organicznej wielką aktywność rozwijali: L. Marchlewski, K. Dziewoński, L. Szperl, W. Lampe, W. Vorbrodt, T. Urbański E. Sucharda, R. Małachowski, A. Chrząszczewska, O. Achmatowicz; chemię nieorganiczną i nauki pokrewne reprezentowali: W. Jakub, W. Trzebiatowski, T. Miłobędzki, M. Struszyński, T. Wojno, S. Bretsznajder, E. Berger, J. Konarzewski i in. W dziedzinie chemii jądrowej wielki dorobek naukowy miał K. Fajans a chemię farmaceutyczną rozwijał S. Weil. W nauce technologii poza już wymienionymi zdobywają niejednokrotnie światowy rozgłos tacy uczeni jak: I. Mościcki, J. Turski, W. Leśniański, T. Kuczyński, St. Pilat, W. Iwanowski, A. Joszt, E. Trepka, W. Dominik, B. Roga, A. Koss, W. Bobrownicki, Z. Zaleski, A. Skąpski, W. Szukiewicz, M. Chorąży, K. Kling, S. Kiełbasiński, S. Glixelli, A. Zmaczyński, S. Bąkowski, L. Suchowiak.

[29] Bretsznajder S., *Roczniki Chem.* 25 (1951).

Rozwój polskiego przemysłu chemicznego w okresie międzywojennym nie miał charakteru lawinowego, tak jak później w latach 1955—1960. Przeciwnie, w pewnych fragmentach można nawet wykazywać, że produkcja nie osiąga poziomu z przed 1914 r.[30]. Jednak warunki pracy w okresie przedwojennym i międzywojennym nie zawsze były porównywalne. Niemniej jednak postęp był bezsporny, a rozwój jakościowy przemysłu chemicznego dość znaczny. Znalazło to m. in. dobitny wyraz w szybkim odradzaniu się wytwórczości surowców chemicznych. Tak np. w pierwszym okresie powojennym wydobycie soli osiągało 260 tys. ton rocznie, a w 1927 r. 540 tys. ton; produkcja soli potasowych wzrosła w tym czasie z 15 tys. ton na 220 tys. ton; od chwili przejęcia fabryk chorzowskich w 1922 r. produkcja azotniaku do 1929 r. wzrosła dwu i półkrotnie. Podobna ewolucja przejawia się w dziedzinie gazu ziemnego, sody, kwasu siarkowego, gazów technicznych, smoły węglowej, superfosfatów itd.[31]. Prawie wszystkie działy przedwojennej produkcji chemicznej zostały dość sprawnie odbudowane i uruchomione, a pełny obraz postępu i w tej dziedzinie zreasumowany był na Powszechnej Wystawie Krajowej w Poznaniu w dziesiątą rocznicę odzyskania niepodległości. Taki postęp był udziałem również subtelniejszych gałęzi produkcji, jak jedwab sztuczny, barwniki syntetyczne, półprodukty organiczne itp. Ważniejsze jest jednak to, że w tym czasie powstało wiele nowych produkcji, nieznanych na ziemiach polskich przed r. 1914. Tak rozwinął się nowy wówczas przemysł syntetycznych nawozów azotowych z fabrykami w Chorzowie, w Mościcach, Knurowie, Łaziskach i w Sarzynie, a nieco później i przemysł koncentrowanego kwasu azotowego metodą Wendlandta-Fischera, będący pierwszą realizacją techniczną w świecie. Podobnie szybko i na dość dużą skalę rozwinął się przemysł farmaceutyczny (4 większe wytwórnie o kapitale polskim i 3 o kapitale obcym); w tym czasie powstały w Polsce nowe zakłady rafinacji tłuszczów, wytwórnia margaryny, wysokogatunkowej gliceryny, wielu nowych półproduktów organicznych (produkcja aniliny od 1927 r.), materiałów wybuchowych wszelkiego typu, alkoholu metylowego i octanu wapnia, zakłady stężania soli potasowych, fabryki chloru elektrolitycznego i wapna bielącego, salmiaku, supertomasyny, saletry wapniowej, amonowej i sodowej, wytwórnie preparatów niszczących chwasty i szkodniki. Ponadto rozwinięto nowy przemysł przetwórczo-gumowy, którego obroty przekraczały 100 mln zł rocznie, podjęto wyrób własnych katalizatorów do konwersji gazu wodnego oraz usprawniono wiele współczynników wydajności itd.

---

[30] Korytkowski J., *Przemysł Chem.*, 37, 222 (1958).

[31] Zamoyski T., *Przemysł Chem.*, 144 (1929).

Ponad to wszystko, jako dorobek najbardziej ważki, jako wartość najcenniejszą należy zapisać fakt wyszkolenia bardzo licznej kadry fachowców, obeznanych z nowoczesną problematyką technologiczną, zaprawionych do samodzielnej pracy twórczej, kadry, z której niejednokrotnie czerpały współpracowników organizacje przemysłowe zagraniczne i z której obficie czerpał i czerpie rozbudowujący się tak wspaniale i na nowych zasadach przemysł chemiczny dzisiejszej Polski.

Świadomość, że zespoły polskich chemików wyrównały poziom fachowy z zespołami przodujących krajów, umożliwiła podjęcie decyzji zwołania do Warszawy XIX Kongresu Chemii Przemysłowej na dzień 24 września 1939 r. Niestety, to wielkie pokojowe, międzynarodowe przedsięwzięcie nie mogło dojść do skutku; unicestwione zostało w dniu 1 września tego roku, gdy na granicy polskiej rozpętana została nowa, potworna wojna światowa.

Lata najbliższe, 1939—1945, zapisały się w dziejach polskiej chemii — podobnie jak we wszystkich innych dziedzinach — najczarniejszymi zgłoskami. W obliczu tego totalnego kataklizmu wszystkie katastrofy przeszłości utraciły swoją jaskrawą wymowę.

Bilansując ogrom strat poniesionych w okresie wojennym przez naukę polską A. Dorabialska stwierdza[32]: „dziś, (w 1946 r.) stoimy wobec ruiny prawie wszystkich warsztatów pracy naukowej, które były twórczymi ośrodkami rozwoju chemii w Polsce. Niemcy zdemolowali lub wywieźli urządzenia zakładów chemii ogólnej i fizycznej, elektrochemii, chemii rolniczej i technologii wszystkich prawie wyższych uczelni: Uniwersytetu Warszawskiego, Jagiellońskiego i Poznańskiego, Politechniki Warszawskiej i Akademii Górniczej w Krakowie". Profesor i b. rektor Politechniki Warszawskiej J. Zawadzki informuje[33]: „materialne zniszczenia na Politechnice sięgają 80—90% realnego stanu posiadania przed wojną. Ale nieporównanie większe i niepowetowane straty ponieśliśmy w zespole pracowników najwyższej klasy, wybitnych uczonych, profesorów, ich pomocników oraz kierowników wielkich przedsiębiorstw. Nie pozostało nawet 50% stanu przedwojennego. Duże straty są również wśród młodzieży przygotowującej się do zawodu chemicznego".

Żadnego pozoru usprawiedliwienia czy choćby wyjaśnienia nie można znaleźć dla faktu bezmyślnego i barbarzyńskiego mordowania ludzi, którzy prawie bez wyjątku stali zdaleka od polityki i operacji wojennych. Tak ginęli masowo w Oświęcimiu i innych obozach śmierci tacy ludzie, jak J. Aumueller, asystent zakładu chemi fizycznej Akademii Górniczej, Z. Berkan, pracownik naukowy Instytutu Chemicznego w Warsza-

[32] *Roczniki Chem.*, 20 (1946).
[33] *Przegląd Chem.* 4, 47 (1946).

wie albo P. Hryniewiecki, szef oddziału azotniakowego w Chorzowie. W r. 1939 zamordowany został przez Niemców H. Broniatowski, prezes łódzkiego oddziału PTCh.; w 1941 r. — łącznie z wieloma innymi wybitnymi naukowcami i pisarzami — rozstrzelany został uczony światowej sławy profesor politechniki lwowskiej St. Pilat. W 1942 r. prof. K. Smoleński, znakomity technolog został zabrany przez Gestapo od warsztatu pracy naukowej, poddawany wielokrotnie torturom i rozstrzelany w 1943 r. na Pawiaku. W tym samym roku zamordowana została J. Bobińska, współpracowniczka naukowa Instytutu Przeciwgazowego, a w ro-

Stanisław Pilat

ku następnym zgładzono St. Weila, pioniera chemii farmaceutycznej uniwersytetu warszawskiego, M. Centnerszwera jednego z czołowych fizyko-chemików polskich, J. Leśkiewicza adiunkta zakładu chemii organicznej uniwersytetu itd. Według niezupełnych zestawień zginęło ponadto 12 samodzielnych pracowników naukowych z działu chemii, 10 wybitnych chemików zajmujących do wojny kierownicze stanowiska w przemyśle, 60 znanych i aktywnych członków PTCh., a 54 zmarło przedwcześnie w związku z wypadkami wojennymi.

Równocześnie najeźdźcy rozprawili się w bezceremonialny sposób z dorobkiem materialnym polskiego przemysłu chemicznego. Aby obraz odpowiadał choć w przybliżeniu rzeczywistości, trzeba by zapisać całe tomy sprawozdań i dokumentów. Tu należy ograniczyć się do kilku ważniejszych przykładów. Z Państwowej Fabryki Związków Azotowych w Mościcach wywieźli Niemcy wszystkie najcenniejsze i najnowocześniejsze urządzenia i rozproszyli je przeważnie po różnych fabrykach niemieckich. Do

Piesteritz i Wolfen skierowano 323 wagony instalacji, 82 wagony przekazano do Trostbergu, Gendorfu i Hartu, 100 wagonów wysłano do Linzu, a 81 wagonów rozwieziono po całym obszarze podległym władzom nazistów. Dodatkowo z tej samej fabryki zagarnięto ponad 25 kg platyny. Z fabryki Zieleniewskiego w Krakowie, specjalizującej się w budowie aparatury chemicznej, zrabowano 380 najcenniejszych, precyzyjnych obrabiarek, a analogiczną firmę warszawską Borman i Schwede zlikwidowano doszczętnie. Główne instalacje produkcyjne fabryki „Boruta" w Zgierzu, wytwórni tworzyw sztucznych w Pustkowie, kauczuku syntetycznego w Dębicy, materiałów wybuchowych w Boryszewie i Niewiadowie, kwasu siarkowego w Kielcach, farb i lakierów w Radomiu, jedwabiu sztucznego w Tomaszowie, preparatów ochrony roślin w Borach pod Jaworznem, czterech polskich fabryk farmaceutycznych itd. wywieziono do Niemiec; inne fabryki w wyniku działań wojennych legły w gruzach. Teoretycznie pewną rekompensatą za te spustoszenia mogło być to, co chemia polska uzyskiwała na ziemiach zachodnich. Obok szeregu koksowni i zakładów koksochemicznych, fabryki elektrod węglowych, w Raciborzu, kwasu siarkowego w Gdańsku i w Gliwicach, karbidu w Bobrku, włókien sztucznych we Wrocławiu, pod Szczecinem, w Jeleniej Górze i niektórych innych fabryk o mniejszym znaczeniu, Polska przejęła kilka potężnych kombinatów chemicznych, zbudowanych przez Niemców w czasie wojny i dla celów wojennych, w oparciu o pracę przymusową więźniów politycznych, przeważnie Polaków. Były to zakłady fabryczne w Kędzierzynie, Blachowni, Dworach koło Oświęcimia, Policach pod Szczecinem i wytwórnia Rokita. W rzeczywistości wszystkie te obiekty stanowiły jedno kłębowisko spustoszeń, których część nie nadawała się już do rekonstrukcji, a wszystkie wymagały gigantycznego wkładu pracy[34].

Niemniej jednak siłą konieczności politycznych, społecznych i gospodarczych narzucał się tam jeden program, jedna myśl, która mogła przemawiać do wyobraźni setek tysięcy ludzi napływających z Polski na opustoszałe i doszczętnie zdewastowane ziemie zachodnie: zakasać rękawy i podjąć niezwłocznie wysiłek na miarę wielkości zadania. Dziś można z poczuciem obiektywizmu stwierdzić, że niezależnie od nieuchronnych błędów i niedociągnięć, dokonany został na ziemiach polskich wkład pracy, niespotykany w całej przeszłej historii narodu. Wszędzie, a więc i na odcinku chemii, dopiero obecnie po upływie kilkunastu lat uporczywego i konsekwentnego wysiłku z całą wyrazistością dostrzega się pozytywne rezultaty.

Wytyczne pierwszych planów powojennych narzucały się same przez się; szło więc o odbudowanie i uruchomienie tych obiektów przemysło-

[34] Bobrownicki T. *Chemik*, 13 (1960).

wych, które były stosunkowo mniej zniszczone, a zarazem mogły stanowić niezbędny etap do dalszego rozwoju[35]. Równocześnie podjęto dwie ważne akcje. Pierwsza zmierzała do rewindykacji wywiezionych maszyn i instalacji, druga do odtworzenia i rozwinięcia nauk chemicznych. Zabiegi rewindykacyjne były niekiedy uwieńczone pełnym powodzeniem. Tak odzyskano np. prawie całą aparaturę wywiezioną z Mościc. Również proces odbudowy postępował często bardzo szybko naprzód. Jednym z wielu przykładów może być odbudowa zgierskiej wytwórni barwników „Boruta". Starzy pracownicy fabryki z pełnym poświęceniem nie tylko usunęli szybko gruzy i odbudowali hale fabryczne, ale już z końcem września 1945 r. zdołali uruchomić oddział kwasu azotowego, a później oddziały „oleum", kwasu chlorosulfonowego, kwasu H, salicylowego, nitrozwiązków itd. Na początku września 1946 r. Boruta zatrudniała już w produkcji 850 pracowników fizycznych i 175 umysłowych. Podobnie postępowała szybko naprzód odbudowa innych fabryk chemicznych. W 1947 r. przekroczono przedwojenny poziom produkcji w zakresie azotniaku, azotanu amonu, węglanu i wodorotlenku sodowego, superfosfatu, a nawet barwników syntetycznych.

Organizowany, czasem przypadkowo i doraźnie, aparat naukowy, po przezwyciężeniu początkowych trudności zaczął wywiązywać się coraz lepiej ze swoich zadań. Pracownie wyższych uczelni i instytutów chemicznych powołanych do życia w Warszawie, Gdańsku, Poznaniu, Wrocławiu, Gliwicach, Krakowie, Łodzi, Lublinie, Toruniu i Szczecinie wykazują nie tylko coraz większy dorobek naukowy, ale i stałe rozszerzanie tematyki prowadzonych studiów i prac. Do 1960 r. ogłoszono w Rocznikach Chemii i w Biuletynie Polskiej Akademii Nauk ok. 700 oryginalnych prac naukowych[36]. Obok Centralnego Instytutu Chemii Ogólnej utworzono 8 instytutów branżowych, przejawiających dużą żywotność i aktywność naukową. Ostatnio zaś powołano do życia urząd Pełnomocnika do Spraw Pokojowego Wykorzystania Energii Jądrowej oraz odpowiedni Instytut Badawczy. Niemałe znaczenie ma też fakt, że takie instytucje, jak Państwowe Wydawnictwo Naukowe i Wydawnictwa Naukowo-Techniczne (dawniej Państwowe Wydawnictwa Techniczne) rozwinęły szeroką i planową działalność wydawniczą, która w ciągu krótkiego czasu oddała do rąk studiujących i zainteresowanych ok. 500 fundamentalnych publikacji z zakresu chemii czystej i stosowanej.

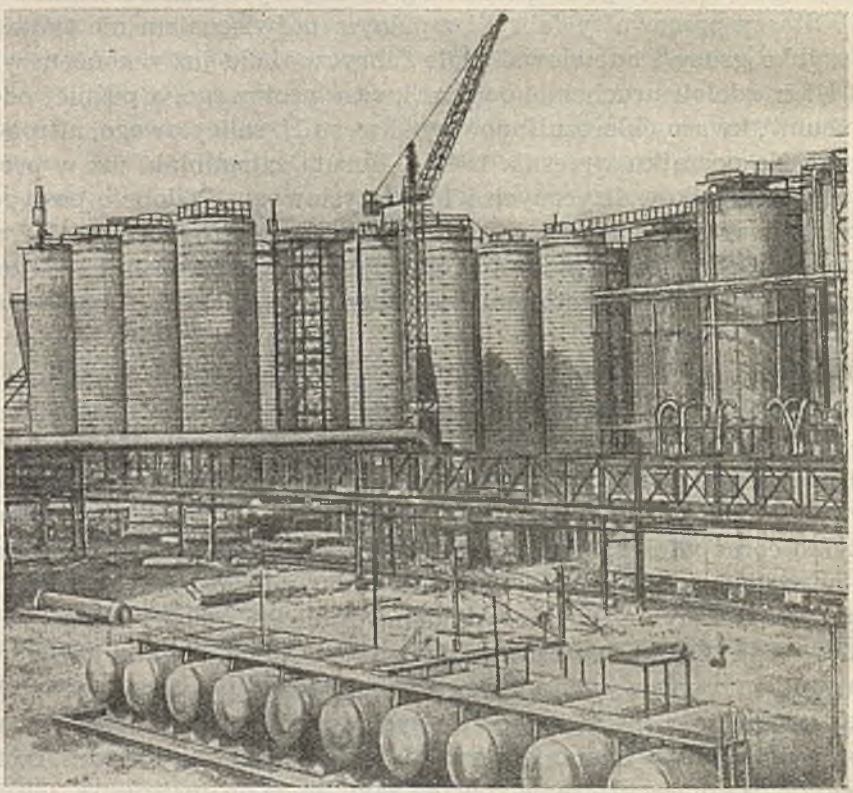
Nowe realizacje przemysłowe przemawiały oczywiście do świadomości społeczeństwa najkonkretniej. Sama podstawa surowcowa powojennego przemysłu chemicznego została znacznie rozszerzona. Obok dużych

---

35 Zmaczyński A., *Przemysł Chem.* 3, 1948.

36 Trzebiatowski W., *Roczniki Chem.* 34, 12—13 (1960).

ilości węgla kamiennego, energetycznego i koksującego, węgla brunatnego, soli, kamienia wapiennego, barytu, rud cynkowych i ołowianych, pirytów przemysł chemiczny dysponuje ograniczonymi na razie ilościami własnego gazu ziemnego, ropy naftowej, soli potasowych z okręgu Kłodawy i rud arsenowych oraz odkrytymi w 1953 r. dużymi — nawet w relacji światowej — zasobami siarki w okręgu tarnobrzeskim. Ocenia się je na ok. 110 mln ton czystej siarki. Eksploatację tego surowca podjęła



Fragment fabryki w Kędzierzynie

w 1958 r. pierwsza kopalnia „Piaseczno"; w Machowie koło Tarnobrzega zaś buduje się intensywnie nowy kombinat fabryczny, w którym obok dużych ilości siarki rafinowanej będzie się wytwarzać w latach najbliższych kontaktowy kwas siarkowy, superfosfat granulowany i podwójny, kwas fosforowy i fluorowodorowy, kriolit sztuczny itp. Ogromny postęp dokonuje się współcześnie w zakresie „chemizacji" polskiego rolnictwa[37]. Zużycie nawozów sztucznych w przeliczeniu na hektar ziemi użytkowanej rolniczo wzrosło w Polsce od okresu przedwojennego do 1958—59 r. śred-

[37] Stobiecki T., *Przegląd Techniczny*, sierpień, 1960.

nio siedmiokrotnie, a nawozów azotowych nawet 10-krotnie. Podobnie zwiększyło się stosowanie chemicznych środków ochrony roślin i zapoczątkowane zostało użycie pasz syntetycznych i soli pokarmowych.

W tym samym okresie produkcja chemiczna nie tylko wzrosła poważnie ilościowo, ale zarazem zróżnicowała się jakościowo. Ilustracją charakteryzującą wciąż potęgujące się tempo rozwojowe mogą być następujące dane: w 1951 r. oddano na rynek 62 nowe produkty chemiczne, w 1955 r. liczba ta wynosiła już 133 a w 1958 r. 282. Wiele z pośród produktów chemicznych zyskało w tym czasie znaczenie europejskie. Tak np. produkcja sody wyniosła w 1960 r. ok. 500 tys. ton, sody kaustycznej ok. 170 tys. ton, amoniaku syntetycznego ok. 350 tys. ton, karbidu ok. 300 tys. ton, kwasu siarkowego (w przeliczeniu na kwas 100-procentowy) ok. 500 tys. ton, chloru gazowego ok. 50 tys. ton, barwników syntetycznych ok. 10 tys. ton o 300 markach handlowych itd. Oznacza to, że główne działy wytwórczości chemicznej w stosunku do okresu międzywojennego wykazują wzrost od 2—10-krotny. Jeżeli nawet w niektórych działach produkcja chemiczna Polski nie dotrzymuje jeszcze kroku rozwojowi w innych wysokouprzemysłowionych krajach, to w każdym razie nie można przeoczyć faktu, że w konsekwentnym wysiłku stwarza się obecnie podstawy do wyrównania tych braków w latach najbliższych. Szczególnie wielkie kombinaty chemiczne przystępują do wytwarzania tych materiałów wyjściowych, które są niezbędne do uruchomienia i rozwoju nowoczesnych gałęzi produkcji chemicznej. Tak np. Zakłady Chemiczne w Kędzierzynie, odbudowane i uruchomione w 1955 r., obok wielkiej ilości takich produktów, jak amoniak, kwas azotowy, saletra amonowa, saletrzak wysokoprocentowy, mocznik i jego pochodne itd., są już dziś dostawcą bezwodnika ftalowego i ftalanów, antrachinonu, syntetycznych kwasów tłuszczowych, wosków, detergentów, tworzyw akrylonitrylowych, melaminowych, wymieniaczy jonowych itp. Kombinat w Dworach koło Oświęcimia staje się coraz poważniejszym wytwórcą półkoksu, karbidu, acetylenu, winylo-pochodnych, kauczuku syntetycznego i lateksu, polistyrenu, fenolu, bezwodnika octowego, alkoholu izopropylowego, metakrylanu butylu, formamidu oraz elektrolitycznego chloru i wodorotlenku sodowego. Dawna Państwowa Fabryka Związków Azotowych pod Tarnowem obecnie po zróżnicowaniu, rozszerzeniu i zmodernizowaniu swojej produkcji stała się kombinatem wielowydziałowym. Obok wielkiej wytwórni amoniaku — wytwarzanego częściowo na podstawie gazu ziemnego — oraz stężonego kwasu azotowego i jego pochodnych, zakłady te dysponują wielką fabryką elektrolizy, pracującą zarówno metodą przeponową, jak i rtęciową a ponadto wywórniami kaprolaktamu i polikaprolaktamu, metanolu, formaldehydu, tiomocznika, polichlorku winylu, żywic metakrylowych itd.

Tak można by wymieniać długie szeregi różnych produktów chemicznych, które uzupełnione szeroką skalą produktów znajdującego się w budowie i organizacji dużego kombinatu petrochemicznego w Płocku, unowocześnią metody pracy i program perspektywiczny polskiego przemysłu chemicznego. Właśnie te czołowe jednostki przemysłowe, a więc obok już wymienionych takie, jak: Zakłady Chemiczne w Chorzowie, Koksochemiczne w Blachowni i w Wielkich Hajdukach, Nadodrzańskie Zakłady Przemysłu Organicznego „Rokita", Tworzyw Sztucznych w Pustkowie, w Jeleniej Górze i w Wojciechowie, Włókien Sztucznych w Tomaszowie, Gorzowie, Szczecinie i Łodzi, Zakłady Sodowe w Borku Fałęckim, w Mątwach i świeżo uruchomione potężne Zakłady Sodowe w Janikowie, Fabryki Chemiczne w Boryszewie i w Strzemieszycach, jak wytwórnia kwasu siarkowego z anhydrytu w Wizowie albo pierwsza wytwórnia kontaktowego kwasu z rodzimej siarki w Toruniu, Zakłady produkcji nawozów fosforowych w Luboniu, w Bogucicach, Toruniu, Szczecinie, jak Raciborska Wytwórnia elektrod węglowych, Gliwicka Fabryka Sadzy, Fabryki Lakierów we Włocławku, Cieszynie, Dębicy, Radomiu, Wrocławiu, Gdańsku-Oliwie i wiele innych wytwórni, po dziesięciu latach porządkowania, odbudowy, inwestycji i planowej pracy, zmieniły od samych podstaw pozycję Polski w ramach światowego przemysłu chemicznego. Najsumienniejsza i zarazem krytyczna analiza przeprowadzona w dowolnie wybranej dziedzinie „wielkiej chemii' prowadzi niezmiennie do tego samego wniosku: oto w ostatnim dziesięcioleciu dokonany został głęboki i zasadniczy przełom w ewolucji polskiego przemysłu chemicznego, którego pozytywne skutki staną się oczywiste dla całego społeczeństwa po upływie pewnego czasu. Ale już i dzisiaj szeregując ilość i jakość polskich barwników syntetycznych, preparatów farmaceutycznych, różnego rodzaju chemikaliów, śledząc procesy systematycznego wyzwalania produkcji krajowej od obcych półproduktów[38], zestawiając pozycje ilościowe i wartościowe wywozu polskich produktów chemicznych na najodleglejsze rynki światowe[39], analizując nieustanny wysiłek podnoszenia poziomu technologicznego, meliorowania współczynników zużycia surowców, energii, pracy na jednostkę produktu, a więc wzrostu wydajności i realizowania postulatów celowości gospodarczej, nie można wątpić w świetną przyszłość chemii przemysłowej w Polsce. Te perspektywy rozwojowe przepracowane szczegółowo i badane wielokrotnie pod najrozmaitszymi punktami widzenia[40], a zapowiadające 6—7-krotny wzrost

---

38 Kozłowski T. B., *Chemik*, 12, 345 (1959).

39 Główny Urząd Statystyczny, *Statystyka Handlu Zagranicznego*, Warszawa 1959, str. 28 i nast.

40 Polska Akademia Nauk, Komitet Elektryfikacji Polski, *Materiały i Studia*; t. II, str. 258.

wartości produkcji chemicznej w 1970 r. w porównaniu z rokiem 1955, opierają się na mocnym fundamencie osiągnięć ostatniego dziesięciolecia.

Na inauguracyjnym zebraniu Polskiego Towarzystwa Chemicznego w dniu 1 listopada 1919 roku w Warszawie Władysław Leppert powiedział: „W epoce najenergiczniejszego tępienia naszej kultury i oświaty, chemia polska wydała Śniadeckich, Walterów, Natansonów, Nenckich, Kostaneckich, Radziszewskich, Wróblewskich, Olszewskich, a w ostatnich czasach na firmamencie wszechświatowym zabłysła taka pierwszorzędna gwiazda naukowa jak Skłodowska-Curie".

W ich ślady poszły nowe, liczniejsze zastępy naukowców, odkrywców, technologów i pisarzy, aby w okresie międzywojennym pielęgnować rozwój chemii teoretycznej i przemysłowej. W ponurych latach drugiej wojny światowej większa część tego dorobku legła w gruzach. Istotą planów najeźdźcy było zadanie nauce polskiej i polskiej cywilizacji technicznej ciosu tak druzgocącego, aby na wieki zczezły nawet ślady nadziei na odrodzenie.

Ale po zakończeniu wojny stanęły w Polsce do pracy niezliczone szeregi ludzi: robotników, mistrzów, techników, inżynierów, profesorów, publicystów, ekonomistów i planistów, aby nie tylko dźwignąć gmach chemii polskiej ponad to wszystko, co dokonane zostało lub co było możliwe kiedykolwiek w minionej przeszłości, lecz również, aby z rozkwitu nauki i przemysłu chemicznego uczynić przedmiot wielkiej i trwałej ambicji narodowej.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

LITERATURA

I. Ogólnohistoryczna

A. Chemia ogólna

Thomson T., The History of Chemistry,	London	1830—31
Hoefer F., Histoire de la chimie depuis les temps les plus reculés jusqu'a notre époque,	Paris	1842—43
Kopp H., Geschichte der Chemie, I—IV.	Braunschweig	1843—47
Berthelot M., La chimie au moyen âge,	Paris	1893
Bielecki J., Rzut oka na rozwój chemii w XIX stuleciu,	Warszawa	1901
Meyer E., Geschichte der Chemie von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart,	Leipzig	1914
Graebe C., Geschichte der organischen Chemie,	Berlin	1920
Lippmann E. O., Zeittafeln zur Geschichte der organischen Chemie,	Berlin	1921
Masson J., Three Centuries of Chemistry,	London	1925
Hopkins A. J., Alchemy, Child of Greek Philosophy,	New York	1934
Partington J. R., A Short History of Chemistry,	London	1939
Walden P., Geschichte der organischen Chemie,	Berlin	1941
Walden P., Drei Jahrtausende Chemie,	Berlin	1944
Valentin H., Geschichte der Pharmazie und Chemie in Form von Zeittafeln,	Stuttgart	1944
Findlay A., A Hundered Years of Chemistry,	New York	1948
Lockemann G., Geschichte der Chemie,	Berlin	1950—55
Hutin S., L'Alchimie,	Paris	1951
Walden P., Chronologische Übersichtstabellen zur Geschichte der Chemie,	Berlin	1952
Lippmann E. O., Entstehung und Ausbreitung der Alchemie,	Weinheim	1954

B. Chemia Przemysłowa

Zart A., Die Entwicklung der chemischen Grossindustrie,	München	1922
Partington J. R., Origins and Development of Applied Chemistry,	London	1937
Read W. T., Industrial Chemistry,	London	1943
Rogers A., Industrial Chemistry,	New York	1943—47
Singer C., The Earliest Chemical Industry,	London	1948

Henglein F. A., Grundriss der chemischen Technik, Weinheim 1955
Ganzenmüller W., Beiträge zur Geschichte der Technologie und der Alchemie, Weinheim 1956
Taylor F. Sherwood, A History of Industrial Chemistry, London 1957
Haber L. F., The Chemical Industry during the Nineteenth Century, Oxford 1958

II. Monografie

A. Ośrodki rozwoju

Ruska J., Arabische Alchemisten, Heidelberg 1924
Tompson R. C., On the Chemistry of the Ancient Assyrians, London 1925
Baud P., L'industrie chimique en France, Paris 1932
Fauque M., L'Evolution de la grande industrie chimique en France, Strasbourg 1932
Miall S., A History of the British Chemical Industry, London 1931
Lepsius B., Deutschlands chemische Industrie, Berlin 1914
Ungewitter C., Die grossen Chemie-Konzerne Deutschlands, Berlin 1931
Jaubert G. F., L'Histoire de l'industrie suisse des matières colorantes, Genève 1896
Baumgartner R., Die wirtschaftliche Bedeutung der chemischen Industrie in Basel, Bern 1947
Carbonelli G., Sulle fonti storiche della chimica e dell' alchimia in Italia, Roma 1925
Späth E., Die Geschichte der Chemie in Oesterreich, Wien 1927
OEEC, The Chemical Industry in Europe Paris 1959
OEEC, L'Industrie chimique en Europe, 1959—1960, Paris 1961
Department of Commerce, The American Chemical Industry New York 1945—54
Warrington C. J. S. and Nicholls R. V., A History of Chemistry in Canada, Toronto 1949

B. Zagadnienia technologiczne

Caro H., Über die Entwicklung der Teerfarbenindustrie, Berlin 1893
Beck L., Die Geschichte des Eisens, Braunschweig 1913
White J. H., The History of the Phlogiston Theory, London 1932
Glasstone S., Sourcebook on Atomic Energy, New York 1950
Mittasch A., Geschichte der Ammoniak-Synthese, Weinheim 1951
Kremers E. and Urdang G., History of Pharmacy, Philadelphia 1951
Clements R., Modern Chemical Discoveries, London 1956
Trepka E., Historia kolorystyki, Warszawa 1960

C. Życiorysy

Grimaux E., Lavoiser 1743—1794,	Paris	1888
Arbuzow A. E. Butlerow, wielki chemik rosyjski,	Warszawa	1949
Pilgrim E., Entdeckung der Elemente mit Biographien ihrer Entdecker,	Stuttgart	1950
Kapustinski A., Łomonosow, twórca chemii fizycznej,	Warszawa	1951
Hurwic J., Dymitr Mendelejew,	Warszawa	1951
Kudriawcew B., Michał Łomonosow,	Warszawa	1952
Bugge Günther, Das Buch der grossen Chemiker,	Weinheim	1955
Praca zbiorowa: Georgius Agricola	Wrocław	1957
Wawrzyczek W., Twórcy chemii,	Warszawa	1959

III. Historia chemii polskiej

Filasiewicz W., Historia chemii w Polsce,	Kraków	1906
Leppert W., Rys rozwoju chemii w Polsce do 1863 roku	Warszawa	1917
Gałecki A., Udział Polaków w uprawianiu i rozwoju chemii	Kraków	1918
Fabiański J., Sulimowski I. i in., Przemysł naftowy w Polsce,	Lwów	1929
Otolski S., Rozwój polskiego przemysłu farmaceutycznego w okresie 20-lecia Państwa Polskiego,	Warszawa	1939
Lampe W., Zarys historii chemii w Polsce,	Kraków	1948
Baliński M., Życie Jędrzeja Śniadeckiego,	Gniezno	1840
Kostanecki S., Profesor M. Nencki,	Genewa	1895
Chłapowski F., Życie i działalność M. Nenckiego,	Poznań	1902
Harabaszewski J., Jędrzej Śniadecki,	Warszawa	1938
Dorabialska A., Maria Skłodowska-Curie i Piotr Curie,	Warszawa	1948
Bobińska H., Maria Curie-Skłodowska,	Warszawa	1949
Trepka E., Jakub Natanson,	Warszawa	1955
Skarżyński B., O Jędrzeju Śniadeckim,	Warszawa	1955
Dębski J., Ignacy Łukasiewicz,	Warszawa	1955
Lampe W., St. Kostanecki, życie i działalność naukowa,	Warszawa	1958

IV. Różne

Berthelot M., La révolution chimique,	Paris	1890
Ullmann F., Enzyklopädie der technischen Chemie, Wyd. I.	Berlin-Wien	1915—23
Wyd. III.		1951
Clow A., The Chemical Revolution,	London	1952
Perry J. H., Chemical Business Handbook,	London	1954
Findlay A., Chemistry in the Service of Man,	London	1957
Cragg L. H. i Graham R. P., Podstawy nowoczesnej chemii ogólnej,	Warszawa	1958
Allcott A. and Bolton H. S., Chemistry To-Day,	London	1959

Skorowidz nazwisk

Accum C. F. 116
Achard F. K. 99, 103, 125
Acheson E. C. 153
Achmatowicz O. 310
Adrianow 231
Agricola (Bauer J.) 63, 64, 65, 67, 78, 287
Albertus Magnus 48, 49, 56
Al Gahiza 52
Al Kindi 56
Al Razis 53
Ampère A. M. 14
Anaksagoras 25
Anaksymander 25, 244
Anaksymenes 24
Andersag H. 237
Anderson C. D. 249
Anderson Th. 117
Andrews T. 134
Appert F. 127
Archimedes 39
Arfvedson A. 106
Armstrong H. E. 133
Arrhenius S. 14, 136, 155, 173, 300
Arystoteles 26, 29, 39, 49, 244
Aspdin J. 123
Aston F. W. 246
Auer v. Welsbach K. 137
Aumueller J. 312
Avicenna (Ibn Sînâ) 46, 47, 48, 50
Avogadro A. 14, 104, 106, 111, 112 118, 134, 139, 173

Bacon F. 61, 63, 64, 65, 66, 68
Bacon R. 50, 54
Baekeland L. H. 182
Baeyer A. 133, 134, 137, 142, 143, 144, 145, 171
Balard J. A. 106
Barner J. 288
Basilius Valentinus 51, 66, 78
Baumann E. 147
Bąkowski S. 310
Beauvais V. de 50
Béchamp P. J. A. 142, 167, 185
Becher J. J. 65, 67, 73, 75
Becquerel H. 19, 173, 245, 305
Belza J. 296
Benda L. 185
Berger E. 310
Bergius F. 176, 177, 222, 223, 228
Bergman T. 88, 92
Berthelot P. E. M. 14, 133, 136, 171, 173, 175
Berthollet C. L. 90, 92, 97, 98, 104, 110, 111, 118, 127
Berzelius J.J. 104, 106, 108, 110, 111, 112, 118, 119, 120, 292
Billwiller 176, 177
Biringuccio V. 63, 65
Birkeland Chr., Birkeland Chr. — Eyde S. 177, 180, 203, 204, 304
Black J. 88, 95
Bobińska J. 313
Bobrownicki W. 310
Boerhaave H. 89
Boettger J. F. 90, 96, 97
Boguski J. J. 305
Bohn R. 67, 183
Bohr N. 173, 175, 245, 246, 248, 251
Bojanowski 285
Bosch K. 179, 204
Bottger R. 122, 126
Bouchardat G. 171, 180
Boussingault J. B. 121

Boyle R. 66, 67, 68, 69, 70, 71, 77, 85, 88, 92, 104, 105, 139
Brand H. 68, 73
Bratkowski 298
Bretsznajder S. 310
Breuer A. 152
Broglie L. de 245
Brockmann H. 237
Broniatowski H. 313
Brunck H. 148, 207
Bruno Giordano 61
Brunschwig H. 63
Bucherer H. T. 142
Bunsen R. W. 111, 116, 117, 120, 150, 158, 173
Butlerow A. M. 133, 134, 139, 171, 173

Cailletet P. 137
Cannizzaro S. 134, 171, 173
Cardanus H. 77
Carlisle A. 14, 108, 140
Caro H. 142, 143, 145, 162
Caro N. 177, 178, 180, 189
Carothers W. H. 229, 233, 234
Casale H. 204, 205
Casciarotus V. 75
Castner H. J. 153
Causanus N. 48
Cavendish H. 82, 83, 84, 85, 86, 91, 92, 101, 173
Celiński J. 294
Centnerszwer M. 310, 313
Chadwick J. 175, 245, 249, 250
Chaffers R. 97
Chain E. 237
Chaptal M. J. A. 110
Chardonnet H. 149
Chevreul M. E. 111, 123, 127
Chodkiewicz A. 294
Chorąży M. 310
Chrząszczewski A. 310
Classen A. 150
Claude G. 204, 205
Claus K. F. 106, 189
Clausius R. 14, 253
Clegg S. 124
Clément N. 94, 127, 128
Cockcroft J. D. 175, 245, 249
Condomine Ch. de la 99
Courtois B. 106
Crafts M. 137
Crell L. 90
Crookes W. 174, 177, 245
Cross C, Bevan E. F., Beadle 149, 181
Cruikshank 108
Curie I. 245, 249
Curie P. 15, 173, 174, 243, 306
Curie-Skłodowska M. 15, 173, 174, 243, 305, 306, 319

Daguerre L. J. 126
Daguin E. 154
Dalton J. 104, 105, 106, 110, 111, 112, 116, 118, 139
Daniel J. F. 109
Davy H. 14, 88, 104, 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 118, 120, 173
Deacon H. 121, 152, 153, 154
Deiman J. R. 92, 140
Dembiński E. 285
Demokryt 25, 26, 39, 69, 244
Dempster A. J. 251, 252
Descartes R. 61
Désormes C. B. 94, 127
Deville St. Claire H. 120, 134
Dewar J. 137
Diesbach i Dippel 90
Dioskorides P. 27, 29, 32, 35, 38
Dirac P. A. M. 245
Doebereiner J. W. 109, 111, 116, 118, 121, 122, 150
Doering W. E. 239
Domagk G. 237, 238
Dominik W. 310
Donath W. F. 236
Donovan 124, 125
Dorabialska A. 309, 310, 312
Dorn E. 174
Drummond 125
Dudycz A. 286
Duggar B. M. 238
Duisberg K. 139, 142, 145, 163, 207
Dulong P. L. 173
Dumas J. B. 104, 107, 111, 114, 116, 118, 119, 123, 127, 155, 296
Du Pont E. J. 130, 199
Dyer H. G. 121
Dziewoński K. 301, 308, 310
Dżabir ibn Hajjan 45, 53

Ehrhardt G. 239
Ehrlich P. 185
Eichengrün A. 181, 185
Einstein A. 173, 175, 245, 249, 256
d'Elhuyar J. i F. 92
Elvins O. C. 222
Empedokles 25, 69, 244
Epikur 25, 26, 39
Erdman E. 137, 142
Erlenmayer E. 133

Faber du Faur 125
Fahlberg C. 140
Fajans K. 310
Fallopius G. 63
Faraday M. 14, 104, 106, 109, 113, 114, 123, 139, 173
Fauser G. 204, 205
Faworski 181
Fermi E. 175, 245, 249, 250, 251
Fischer E. 134, 142, 143, 145, 185
Fischer F., Fischer-Tropsch 176, 222, 223, 224, 225, 228
Fischer O. 138, 142, 143, 145
Fittig R. 137, 142
Fleming A. 122, 236, 237
Florey H. W. 237
Fourcroy A. F. 90, 110
Fourneau E. 184
Frank A., Frank-Caro 177, 178, 180, 189, 304
Frankland E. 133, 134, 173
Fresenius H. 111, 117
Fresnel A. J. 121, 154
Freudenberg H. 177
Freund A. 296
Friedel K. 137
Friedländer P. 183

Galenos C. 34, 35
Galileusz G. 25, 61
Galvani L. 82, 291
Gay-Lussac J. L. 14, 104, 106, 109, 111, 112, 113, 118, 120, 127, 128, 139, 173
Geber — Giaber — Giber 45, 46
Gerber — Keller J. i A. 142, 160
Gerhard Chr. 117
Gibbs J. W. 135
Gilchrist P. 152
Gladston J. H. 116
Glauber J. R. 67, 71, 72, 73, 75, 77
Glixelli S. 310
Gmelin L. 118, 130
Godlewski T. 300
Goldschmidt H. 152
Goodyear K. 126
Gossage W. 121, 154
Graebe A. 137, 142, 143, 162
Graham T. 134, 173, 253
Green A. 142, 145
Griess P. 140, 142
Grignard V. 139
Grotthuss T. 14, 108
Györgyi — Szent A. 236, 237

Haber F. 179, 180, 190, 204
Haeussermann K. 148
Hahn O. 245, 250
Halbig P. 230
Hammurabi 36
Hancock T. 126
Hann A. 293, 294, 295
Harrison J. 130, 154
Hartmann J. 65, 67, 286
Hänke T. 107
Heisenberg W. 245
Helfenstein A. 187
Helmholtz H. 114
Helmont J. B. van 67, 68, 80
Hemming J. 121
Henninger A. 138
Heraklit 24
Herodot 30, 33, 35
Héroult P. 138, 152
Hess H. H. 117
Heumann K. 142, 144, 182
Hippokrates 34, 39
Hisinger W. 108
Hittorf J. W. 14
Hlasko J. 310
Hoffmann F. 85, 89, 181
Hofmann A. W. 115, 124, 132, 137, 138, 139, 142, 143, 145, 158, 160, 171
Holmgren T. A. 222
Homberg W. 90
Hooke R. 66, 70, 78, 80
Hordliczka I. 302
Hryniewiecki P. 313
Hubert E. 233
Huskisson W. 128
Hyatt J. W. 137, 149

Ipatiew W. 181
Iwanowski W. 310

Jabłczyński K. 310
Jakub W. 310
Janssen P. J. 134
Jaśkiewicz J. 289
Johnson J. C. 120, 123
Joliot F. 175, 245, 249
Joszt A. 310
Jungius J. 68

Kamieński B. 310
Kant I. 80
Karrer P. 236, 237
Kekulé A. 19, 133, 139, 141, 142, 158, 171
Kellner C. 153
Kemula W. 310
Kepler J. 61
Kiełbasiński S. 309, 310
Kipping F. S. 15, 229
Kirchhoff G. 117, 173
Kitajewski A. 293
Klaproth M. H. 106, 111, 116
Kling K. 304, 310
Klobassa W. 299
Knietsch R. 146
Koffsky W. 285
Kohlrausch F. 14
Kolbe H. 14, 123, 164
Konarzewski J. 310
Koncewicz J. 293, 295
Kondakow J. 181
Kopernik M. 61
Kopp H. 21
Koss A. 310
Kostanecki S. 138, 142, 303, 319
Krüger P. 147
Krzyżanowski J. 293
Ksenofanes 24
Ksenofont 33
Ksenokrates 26
Kuczerow M. 171
Kuczyński T. 310
Kuhlman C. F. 128, 178
Kuhn R. 237
Kunckel J. 67, 73
Kunheim L. 121, 154
Kurtz P. 230

Laar K. 134
Ladenburg A. 133, 147
Lampe W. 310
Langmuir I. 173, 175, 215, 245, 247
Laurent A. 111
Lavoisier A. W. 14, 19, 82, 84, 88, 90, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 139, 173, 289, 291
Lawes J. B. 119, 122
Lawrence E. O. 248, 252
Lebiediew S. 181, 226
Leblanc M. 14, 96, 121, 139, 153, 154, 198
Lebon F. 124
Le Chatelier H. L. 135, 173, 178, 188
Lemery N. i L. 67, 68, 77
Leppert W. 319
Leśkiewicz J. 313
Leśniański W. 304, 310
Leszczyński 285
Leukippos 25, 26, 39
Levinstein I. 142, 161, 169
Lewis G. N. 245, 247
Libavius A. 63, 64, 65, 67, 75, 88, 109
Liebermann C. 137, 138, 143, 162
Liebig J. 104, 106, 107, 111, 114, 115, 116, 118, 119, 121, 122, 123, 155, 158, 295
Linde K. 137, 188
Linstead R. P. 239
Lockyer N. 134
Loew O. 134
Loschmidt J. 133
Lowitz T. 106
Lucreciusz C. 25
Lullus Raymondus 48, 50, 54
Lundström J. E. 123

Łomonosow M. W. 82, 84, 89
Łukasiewicz I. 140, 298, 299

Macintosh K. 126
Macquer P. J. 90
Magnus H. G. 121
Małachowski R. 310
Marchlewski L. P. 301, 307, 310
Marggraf A. Z. 88, 89, 90, 91, 98, 103
Mariotte E. 61, 67, 70, 105
Markowski J. 296, 298
Martius K. A. 142
Martynowicz Z. 305
Mayerne T. de 68

Mayow J. 80
Mc Millan E. M. 251, 252
Mendelejew D. I. 19, 135, 150, 171, 173, 244, 246
Mering 185
Meyer L. 133, 150
Meyer V. 134
Milicer N. 305
Miłobędzki T. 310
Minckelers J. P. 124
Mitscherlich E. 104, 111, 114, 123, 139, 149
Mittasch A. 176, 179
Moissan H. 153, 173
Morveau G. de 90, 110, 139
Mosander C. G. 106
Moseley H. G. J. 245, 246
Mościcki I. 177, 304, 305, 308, 310
Murdoch W. 13, 124
Murray J. 122
Muspratt J. 120, 121, 122, 128, 154, 168
Müller P. 237

Nash A. W. 222
Natanson J. 142, 160, 296, 319
Nencki M. 147, 303, 319
Nernst W. 173, 178
Newton I. 61, 66, 70, 82
Nicholson W. 14, 108, 140, 142
Niementowski S. 300, 308
Niepcé J. N. 126
Niepcé St. Victor de 127
Nietzki R. 138, 142, 145
Nobel A. 147, 148 171
Norman W. 175

Oczko W. 285
Oersted H. Ch. 120
Olszewski K. S. 117, 137, 173, 300, 319
Onnes 173
Orłow E. 176
Osiński J. 289
Ostwald W. 80, 171, 173, 178, 189

Pademontanus A. 77
Palissy B. 74, 77
Pankiewicz J. 296
Paracelsus Teofrast 61, 62, 63, 66, 67, 69, 78, 285
Parkes A. 149
Pasteur L. 138, 243
Patart G. L. E. 176, 222
Pawlewski B. 300
Pawłowicz M. 298
Perkin W. H. 10, 132, 133, 140, 141, 142, 143, 147, 171, 296
Petrycy J. 285
Pfleger 183
Piccolpasso C. 65
Pichler H. 222, 223
Pictet A. 137, 188
Pier M. 176, 222
Pilat S. 310, 313
Piria R. 117, 123
Pitagoras 24
Planck M. 245, 246
Plater L. 293
Plato 26, 29
Plinius Gaius 26, 27, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 40, 90
Płużański W. 308
Polejowski A. 294
Polzeniusz F. E. 178, 187, 303
Pott J. H. 83, 90, 97
Priestley J. 15, 82, 84, 86, 87, 88, 90, 92, 97, 99, 101, 104, 105, 106, 139
Proust J. L. 104, 105, 106, 111, 118
Prout W. 245
Prudhomme E. A. 142, 167, 222
Pseudo-Geber, Giaber 46, 51, 54

Rabe P. 237
Radwański A. 296
Radziszewski B. 300, 319
Ramsay W. 134, 137, 138, 174
Raoult F. M. 14
Raydt W. 156
Readman J. B. 156
Reichenbach 107
Reichstein T. 237, 239
Rein H. 233, 234
Remsen J. 140
Retyk J. J. 286
Richter J. B. 106, 108, 116, 119, 139
Robinson R. 239
Rochow E. G. 231
Roebuck J. 93, 94
Roentgen W. K. 19, 173, 145
Roga B. 310
Rogalewicz A. 296

Roscoe H. 117, 120
Rose H. 106
Rosetti G. V. 63
Rothe F. 177
Rudakow 237
Runge F. F. 106, 123, 124, 134
Rutherford D. 86
Rutherford E. 173, 174, 175, 245, 246, 247, 248, 300
Rybicki T. 293, 294, 295

Sabatier P. 175, 176
Sapper A. 141, 142
Sartoris J. 289
Saussure T. de 98, 121
Sawiczewski J. 298
Scheele K. W. 82, 84, 86, 87, 88, 90, 91 92, 97, 109, 139
Scheidt F. 289
Schloesing i Rolland 121, 154
Schönbein C. F. 111, 117, 118, 121, 123, 126, 173
Schrödinger E. 245
Schrötter A. 122, 127
Schultz G. 142, 145, 182
Schürer Ch. 68, 74
Schwarz B. 54
Seaborg G. T. 251, 252
Sefström N. G. 106
Senderens J. B. 175, 176
Sennert D. 67
Sertürner F. 111, 127
Sędziwój M. 66, 286
Skąpski A. 310
Skraup Z. 137
Skrodzki J. 294
Smith A. 82
Smoleński K. 309, 313
Smoluchowski M. 173, 300
Sobrero A. 111, 123, 126
Sochinus J. 285
Soddy F. 173, 174, 175, 245, 246
Solvay E. 154, 168, 171
Sommerfeld A. 245
Spielmann J. 289
Stahl G. E. 65, 67, 78, 79, 80, 83, 84, 85, 90, 101, 102, 103
Starck J. 129
Staszic S. 292, 293
Staudinger H. 182, 229
Strabo 29, 30
Strassmann F. 245, 250
Stromeyer F. 106, 119
Strusiek J. 285
Struszyński M. 310
Sucharda E. 310
Suchowiak L. 310
Sulivan S. C. 230
Syniewski W. 300
Syxt E. 285
Szperl L. 310
Szukiewicz W. 310

Śniadecki J. 139, 291, 292,319
Śniechowski J. 301, 302
Świętosławski W. 308, 309

Takamine 185
Talbot W. H. 127
Tales z Miletu 24, 25, 39
Taylor H. S. 124, 125, 171
Teichman L. 296
Tennant Ch. 98, 128, 168
Teofrast 26, 33, 39
Thénard L. J. 106, 109, 111, 118, 127
Thomas L. H. 245
Thomas S. G. 152
Thomsen J. 135
Thomson J. J. 83, 245
Tiemann F. 147
Tien-Czszen 37
Tilden W. A. 180
Tiszczenko 237
Todd A. R. 237
Tołłoczko S. 300
Torosiewicz T. 298
Townley R. 70
Traube W. 185
Travers M. 138
Treibs A. 230
Trepka E. 207, 310
von Troostwyk Paets A. 92, 140
Tropsch H. 176, 222
Trzebiatowski W. 310
Trzecieski T. 299
Trzciński 289
Turski J. 310

Ullmann F. 241
Urbański T. 310
Urey H. 173, 175, 245, 249, 256, 265

Valson 14
Van der Waals D. 135
Van't Hoff J. H. 134, 136, 172
Vauquelin N. L. 110, 127
Verguin E. 142, 160
Vicat L. J. 123
Vidal R. 142, 167
du Vigneaud V 237
Villanovanus A. 50
da Vinci Leonardo 59
Volta A. 82, 108, 291
Vorbrodt W. 310

Waksman S. A. 237
Walden P. 85
Walter F. N. 111, 123, 295, 319
Wasilewski L. 308
Watson W. 91
Wedgwood J. 97
Wejl S. 310, 313
Weldon W. 152, 153
Wenzel K. F. 90, 139
Wertenstein L. 309
Westphal K. 237
Whinfield J. B. 234
Wichelhaus H. 141, 142
Wietzel R. 222
Wilhelmy L. 117
Williams Ch. 137
Willstätter R. 182
Windaus A. 237
Winkler K. 176, 222
Wislicenus H. 134, 135
Wisznegradzki 134
Witt O. N. 138, 142, 145
Witthauer 185
Wojno T. 310
Wollaston W. H. 106, 118, 120, 139
Wood C. 91, 240
Woodward C. F. 90
Woodward R. B. 239
Wöhler F. 14, 104, 107, 109, 111, 114, 115, 116, 118, 120, 121, 123, 130, 139, 171.
Wróblewski Z. F. 137, 173, 300, 319
Wurtz A. 117, 123, 141, 142

Yukawa Hideki 249

Zaleski J. 300
Zaleski Z. 310
Zawadzki J. 310, 312
Zawidzki J. 306, 308
Zdzitowiecki S. 293, 294, 295, 296
Ziegler K. 231
Zinin M. M. 111, 123, 124, 133, 139
Zmaczyński A. 310
Znatowicz B. 302, 303
Zosimos z Panopolis 8, 42, 43, 44
Zuchta A. 285, 286

Żiżkow 117

Skorowidz przedmiotowy

Acetylen 114, 133, 137, 171, 175, 214, 219, 224, 226, 230, 241, 268, 269, 272, 273, 276, 277, 317

Agfa 142, 163, 167, 170, 201, 207

Akrylonitryl 214, 218, 219, 225, 230

Alchemia, alchemicy 8, 9, 17, 18, 26, 41—45, 47—51, 53, 54, 57—59, 61—63, 65, 66, 68, 69, 71, 73, 75, 83, 85, 89, 93, 96, 97, 131, 285, 286

Alkohole 54—56, 63, 71, 73, 91, 109, 126, 136, 157, 158, 188, 195, 214, 222, 269, 273, 309, 311, 317

Aluminium, przemysł aluminiowy 109, 120, 138, 152, 166, 187, 209, 231, 241

Aluminium Industrie A. G. 166, 304

Ałun 32, 35, 39, 48, 54, 55, 58, 60, 61, 76, 127, 129, 130, 161, 200, 287, 288,

Ameryka 86, 168, 203, 208, 212, 213, 231, 241, 268, 269, 272, 290

Amoniak 52, 87, 92, 97, 114, 121, 123, 148, 156, 171, 178, 180, 186, 187, 189, 190, 194, 198, 205, 215, 216, 219, 241, 242, 278, 302, 317

Amonowe związki 102, 155, 178, 193, 197, 198, 202, 241, 315, 317

Anglia, Anglicy 11, 13, 14, 50, 57, 61, 74, 75, 80, 93—97, 99, 115, 116, 120—126, 128, 140, 143, 154, 157—159, 161, 166, 168, 169, 183, 184, 186, 191—193, 208, 228, 257, 284, 291, 294

Anilina 124, 129, 132, 141, 142, 166, 168, 175, 182, 193, 197, 198, 296, 311

Antybiotyki 10, 236—238, 276

Arabia, Arabowie, arabskie kraje 37, 44—48, 52—54, 56

Atom, atomowa chemia, liczba, model 9, 10, 20 69, 89, 105, 106, 111, 116—118, 131, 134, 135, 174, 175, 241, 244—252, 255, 263

Australia 201, 202, 204, 242, 257, 269

Automatyzacja 220, 221, 271, 273, 274, 283

Azja 203, 235, 269, 272, 278

Azot, azotany, azotniak i pochodne 10, 15, 33, 54, 86, 103, 107, 115, 116, 118, 119, 123, 127, 155, 175, 177—180, 187, 189, 202, 204, 205, 207—209, 215, 216, 219, 221, 232, 240—242, 245, 248, 256, 263, 268, 274, 276—278, 281, 297, 300, 303—305, 311, 315—317

BASF, Badische Anilin u. Soda Fabrik 143, 144, 156, 161, 162, 164, 167, 170, 176, 183, 201, 206, 207

Barwniki naturalne 7, 12, 34, 35, 37, 38, 48, 57, 60, 76, 93, 99, 127, 132, 137, 142, 193, 288, 290

— syntetyczne, sztuczne, przemysł barwników, wytwórnie 7, 10, 12, 19, 132, 137, 138, 140—142, 147, 148, 155, 158, 160—170, 172, 180, 183, 184, 191, 193, 194, 196—203, 207, 208, 216, 217, 236, 237, 239, 243, 272, 276, 277, 281, 296, 301, 307, 311, 315, 317, 318

— — według grup 142, 143, 145, 163, 167—169, 183, 207, 239, 302

Bawełna, bawełna strzelnicza 107, 126, 147, 148, 189, 200, 209, 210, 232, 235

Bayer F. (Farbenfabrik vorm. Bayer u. Co) 143, 147, 161, 163, 170, 183, 185, 201, 207

Bazylea 129, 157, 160, 161, 165

Belgia 119, 148, 154, 159, 170, 186, 190, 205, 208, 214, 215, 224, 225, 260, 278, 281, 294
Benzen, benzol i pochodne 10, 73, 106, 114, 123, 133, 141, 148, 168, 193, 196, 200, 211, 212, 215, 217, 296
Bielące środki, bielenie, bielidło 10, 12, 19, 33, 98, 99, 107, 121, 128, 129, 153, 157, 166, 168, 193, 217, 240
Bizancjum 41, 47, 48, 52, 53, 56
Bliski Wschód 8, 31, 32, 34, 36, 38, 41, 56, 60, 212, 279
Boksyt 107, 152, 210, 242, 268
Bomba atomowa, cezowa, kobaltowa, wodorowa, broń atomowa 255, 256, 259, 261, 264
Brunner, Mond a. Co. Ltd., Canada Ltd. 168, 193, 194, 208
Butadien i pochodne 138, 181, 190, 214, 225, 226, 230, 269, 277, 309

Casella L. u Co. 163, 167, 207
Celuloza i pochodne 15, 107, 117, 126, 138, 149, 181, 182, 188, 194, 210, 230, 232, 280
Cement 31, 96, 123, 130, 164, 186, 200, 240, 243
Ceramika, ceramiczne naczynia, wyroby 30, 31, 74, 170, 240, 290
Chile 107, 138, 156, 242
Chiny, Chińczycy 8, 28, 29, 31, 33, 34, 37, 45, 52, 54, 57, 77, 96, 215, 225, 242, 270, 272
Chlor chlorowanie 12, 88, 91, 98, 103, 108, 109, 113, 114, 116, 118, 121, 123, 128, 130, 152, 153, 156, 157, 187, 190—192, 194, 195, 203, 216, 217, 233, 241, 268, 273, 276, 277, 300, 311, 317
Chlorowce, chloropochodne 87, 106, 107, 109, 113—116, 123, 141, 152, 153, 157, 187, 191, 193, 214
CIBA (Chemische Industrie — Basel) 165, 183, 194
Cukier, cukrownictwo, cukry 10, 12, 15, 19, 51, 52, 58, 60, 68, 72, 76, 91, 99, 103, 106, 107, 111, 122, 125, 126, 128, 130, 134, 138, 164, 185, 195, 203, 243, 281, 297, 298, 301
Cyjanki i pochodne 91, 92, 137, 191, 193, 214, 218, 221, 229, 230
Cyklotron 248, 251, 263
Cyna 28, 30, 38, 75, 79, 130
Cynk, cynkownie, sole c. 29—31, 55, 62, 63, 75, 79, 91, 119, 120, 251, 292
Czechy, Czechosłowacja 54, 74, 93, 94, 129, 170, 205, 214, 221, 232, 242, 272, 276, 279

Daleki Wschód 22, 34, 51, 99, 197, 227, 241
DDT 237, 241
Degussa 163, 183, 221
Detergenty 7, 10, 214, 217, 218, 221, 225, 227, 239, 269, 271, 281, 317
Deuter 219, 249, 250, 256, 265
Du Pont de Nemours E. J. and Co. 199, 200, 208, 233, 234
Durand L. et Huguenin 165, 167
Dwusiarczek węgla 127, 187, 198, 211
Dwutlenek siarki 33, 87, 92—94, 114, 120, 123, 138, 146, 156
— węgla 15, 67, 86, 89, 95, 101, 102, 121, 123, 156
Dynamit 147, 148

Egipcjanie, Egipt 8, 9, 23, 28, 31, 33—35, 37, 38, 41, 42, 44—47, 51—53, 242
Elektrochemia 13, 19, 113, 130, 163, 165, 166, 171, 209, 241, 274, 304, 309, 312
Elektroliza, elektrotermia 10, 106, 112—114, 117, 152, 153, 162, 209, 242, 277, 317
Elektron, orbity e. 9, 175, 245—249, 252
Energia atomowa 92, 250, 253, 256, 258, 262, 282
Energia elektryczna 92, 103, 198, 204, 259, 261, 262, 273, 281
Energia jądrowa 218, 248, 251, 259, 261, 262
Etanol 214, 224—226
Eter etylowy, eter siarkowy 73, 99, 126, 196, 198, 214
Etylen i pochodne 73, 176, 214, 215, 218—220, 225, 229, 234, 241, 269, 273, 276, 296, 301
Europa 12, 15, 18, 28, 34, 41, 45—48, 52, 54—57, 60, 73—76, 90, 96, 97, 99, 107, 111, 119, 126, 129, 130, 158, 172, 183, 195, 197, 201, 203, 204, 213, 214, 225,

242, 259, 268, 269, 271, 279, 284, 285, 288, 291, 293, 294, 297, 300

Farby mineralne, f. świecące 33, 37—39, 57, 75, 123, 243, 314
Farmaceutyczne preparaty, farmaceutyczny przemysł, wyroby 130, 147, 165, 184, 196—198, 201, 236, 269, 272, 311, 314, 318
Fenicja, Fenicjanie 28, 29, 34, 38, 45
Fenol, fenole i pochodne 72, 92, 106, 123, 137, 141, 171, 182, 192, 193, 197, 200, 217, 230, 276, 281, 296, 317
Fermentacja, procesy, przemysł 10, 33, 34, 39, 56, 67, 68, 78, 83, 99, 101, 102, 126, 130, 138
Flogiston 68, 79, 80, 83—86, 101, 102
Florencja 47, 53, 54, 66
Fluor, pochodne 78, 103, 211, 236, 241, 301, 316
Florencja 47, 53, 54, 66
Fluor, pochodne 78, 103, 211, 236, 241, 301, 316
Fosfór i pochodne 68, 70, 73, 91, 98, 102, 114, 122, 123, 156, 186, 187, 193, 211, 219, 241, 264
Fosforowe nawozy, przemysł f., związki f., fosforyty 10, 107, 115, 122, 128, 138, 156, 189, 203, 208, 210, 211, 242, 268, 277, 278, 301, 316, 318
Fotografika, filmy, klisze, preparaty 126, 163, 181, 191, 196, 201, 261
Francja, Francuzi 50, 57, 61, 66, 74, 76, 77, 80, 91, 94, 97, 99, 107, 110, 121—123, 126, 127, 129, 141, 148, 149, 154, 157—161, 166, 167, 176, 188, 191, 192, 201, 203, 205, 208, 211, 214, 221, 225, 254, 257, 260, 269, 272, 274, 278—281, 284, 296
Ftalany, kwasy ftalowe, bezwodnik 142 144, 187, 217, 220, 234, 276, 317

Garbarstwo, przemysł, garbniki 32, 34, 51, 74, 78, 149, 196, 210, 217, 287, 288, 290, 294
Gazownictwo, gazownie, przemysł 13, 19, 124, 138, 164, 170, 186, 196, 213, 219, 302
Gaz ziemny 33, 139, 213, 214, 224, 226, 242, 268, 269, 274, 276, 277, 279, 296, 308, 311, 316, 317
Gazy, substancje gazowe 7, 10, 58, 67, 70, 83, 85—88, 90, 91, 93, 97, 103, 105, 106, 108, 112—114, 123, 125, 130, 135, 137, 148, 150, 156, 163, 164, 172, 174, 179, 186, 189, 190, 191, 196, 213, 215, 221—224, 226, 240, 243, 253, 269, 272—274, 277, 279, 282, 311
— szlachetne 56, 134, 138, 187
Genua 47, 52, 53, 76, 134
Gliceryna 12, 91, 189, 197, 198, 214, 227, 281, 311
Glin, sole, związki 99, 114, 117, 120, 137, 152, 211
Grecja, Grecy 8, 22—25, 27, 30, 31, 34—36, 39, 42, 45, 46, 99
Griesheim-Elektron 153, 163, 207

Hanford Engineering Plant 229, 255, 259
Hel 134, 174, 188, 249, 250, 252, 256
Hiszpania, Hiszpanie 28, 29, 44, 46, 50, 61, 92, 159, 205, 225, 242, 279, 284
Holandia, Holendrzy 61, 74, 76, 80, 87, 89, 159, 201, 202, 204, 214, 215, 225, 242, 260, 272, 274, 278, 281, 284, 294

Imperial Chemical Industries Ltd. (ICI) 204, 208, 225, 229, 240
India 28, 29, 33—35, 37, 76, 119, 172, 182, 193, 194, 204, 242, 257, 270, 272, 290
I. G. Farben Industrie 207, 233, 234, 237
Indonezja 37, 213, 227, 242, 257, 270, 279
Indygo, błękit, syntetyczne, pochodne 19, 34, 35, 76, 93, 144—146, 157, 161, 172, 182, 183, 194, 200, 290, 303
Izopren 19, 137, 171, 180, 181
Izotopy 10, 175, 229, 246, 248—253, 255, 258, 259, 261—264, 277

Japonia 34, 52, 96, 194, 197, 198, 201—203, 205, 219, 227, 242, 268, 270, 274, 276
Jatro-chemia, jatrochemicy 9, 62, 63, 68, 71, 78, 285
Jedwab sztuczny 149, 181, 201, 202, 211, 232, 311, 314
Jod 106, 116, 126, 194, 198, 200, 264
Jądro atomowe, chemia jądrowa 9, 13, 247—250, 255, 256, 257
Jony, aniony, kationy 109, 136, 247

Kalle u. Co. 144, 147, 163, 183, 201, 207
Kamień filozoficzny, kamień mądrości 9, 43, 47, 49, 57, 58, 62, 65, 73, 96
— wapienny 8, 30, 96, 107, 210, 316
Kanada 159, 194, 201, 202, 204, 205, 213, 242, 257, 269, 276, 278—280
Karbid, piece, przemysł 114, 178, 186, 187, 194, 219, 224, 226, 241, 273, 276, 303, 314, 317
Karborund 7, 187, 241
Kataliza, katalizatory 103, 109, 110, 112, 120, 137, 146, 175, 176, 178, 179, 209, 211, 218, 220, 222—224, 231, 240, 283, 304, 311
Kauczuk naturalny 7, 99, 100, 107, 126, 130, 137, 171, 189, 219, 227, 235, 281
Kauczuki syntetyczne 7, 10, 180, 181, 209, 214, 217—219, 221, 225, 227, 229, 235, 268, 269, 272, 275, 277, 280, 281, 283, 309, 314, 317
Koks, koksowanie, koksownictwo 10, 19, 73, 75, 98, 124, 125, 138, 139, 148, 164, 170, 178, 186, 198, 202, 210, 219, 224, 241, 243, 268, 308, 314
Kopolimeryzacja 219, 226, 230, 236
Kraking, krakowanie 10, 212, 263, 273, 275
Kraków 59, 285, 287, 288, 291, 298, 301, 304
Kuhlman (koncern), Etablissement K. 166, 192, 205, 208
Kwasy 45, 51, 99, 130, 136, 137
— nieorganiczne 10, 11, 19, 54, 64, 67, 71, 72, 75, 78, 86, 88, 90, 91, 94, 98, 106, 107, 113, 117, 120—122, 128, 129, 132, 138, 146, 153—157, 161, 163, 164, 166, 169, 170, 178, 180, 186—189, 193—195, 197—199, 203, 207, 208, 211, 216, 219, 221, 240, 241, 268, 274, 277, 288, 294, 297, 304, 307, 311, 314, 316—318
— organiczne 33, 68, 88, 91, 107, 113, 115, 117, 127, 140—142, 144, 148, 183, 209, 214, 217, 269, 315
— stężone, dymiące 73, 93, 120, 122, 146, 168, 192, 315

Lakiery 180, 216, 218, 282, 314, 318
Lekarstwa, leki, środki, preparaty lecznicze 10, 12, 15, 33—35, 37, 43, 45, 55—58, 62, 63, 78, 130, 132, 147, 162—164, 178, 180, 184, 194, 196, 198, 201, 209, 216, 221, 236, 243, 272, 276, 277, 281, 288, 298
Leki według grup 127, 147, 184, 185, 194, 197, 236—239
Levinstein I. and Co. 169, 183, 194, 197
Londyn 66, 68, 94, 108, 110, 124, 140, 143, 291, 293, 294, 304
Lyon 48, 52, 57, 142, 167

Łuk elektryczny 108, 109, 113, 137, 153, 177, 304

Mannheim 129, 162, 163
Marsylia 48, 52, 76
Materiały rozszczepialne 10, 229, 254, 255, 257, 262
— materiały wybuchowe 10, 73, 117, 130, 147, 172, 180, 188, 194, 196—199, 216, 227—229, 283, 311, 314
Mechanizacja 220, 271, 273, 301,
Meister Lucius u. Brüning (MLB) Höchst, 143, 144, 147, 162, 167, 170, 182—185, 194, 201, 207, 237
Merck E. u. Co. 163, 185
Metale, metalurgia 7—10, 12, 27—32, 37, 38, 42, 43, 45, 47—51, 53, 58, 60, 62—64, 74, 75, 78—80, 84, 89, 91, 92, 98, 101, 102, 106, 114, 115, 119, 130, 150, 152, 162, 187, 189, 203, 209, 215, 218, 228, 240, 243, 254, 258, 276, 277, 280, 282, 286, 287, 290, 292, 293, 301
Metanol 137, 176, 187, 196, 211, 214, 222, 269, 276, 317
Metoda amoniakalna (Solvaya) 121, 153, 154, 164, 198
— Bergiusa 222—225, 228
— Casalego 204, 205
— Claude'a 204, 205
— Clausa 153, 189
— Deacona 152, 153
— Fausera 204, 205
— Fischera-Tropscha 222—225, 228
— komorowa 94, 146, 147, 194
— kontaktowa 120, 146, 164, 187, 195, 199, 221
— Leblanca 121, 153, 154, 198
— NEC 204, 205
— Weldona 152, 153
Metody ciągłe 12, 153, 186, 304

Metody ciśnieniowe 12, 219, 277, 280
— elektrolityczne 14, 108, 137, 138, 152, 154, 166, 172, 187, 198, 199, 218
— elektrotermiczne 109, 114, 172, 187
— katalityczne 12, 219, 221, 223, 241, 281
— łukowe 178, 204
Miedź, związki, sole 28—32, 37—39, 62, 75, 91, 120, 130, 137, 142, 152, 187, 241, 287
Mocznik 179, 218, 276, 278, 303, 317
Monnet et Dury 160, 167
Montecatini 205, 208, 219, 231
Murano 53, 54
Mydło, mydlarnie 7, 10, 33, 34, 56, 58, 76, 95, 99, 107, 130, 195, 196, 203, 227, 243, 281, 288, 290, 294

Nafta i pochodne 140, 169, 200, 225, 227, 228, 263, 276, 296—299, 308
Naftalen 123, 141, 142, 144, 146, 193, 196, 200, 220
Nawozy, nawożenie, przemysł 10, 19, 39, 78, 107, 121, 129, 130, 155, 163, 165, 166, 170, 172, 175, 177—180, 189, 195, 197, 199, 208, 240—243, 269, 271—274, 316
Neptun 251, 252, 263
Neutron 247—252, 256, 258, 264
Niemcy 13, 56, 72, 74, 76, 111, 115, 116, 121, 123, 137, 142, 143, 145, 146, 148, 154, 155, 158—166, 168, 170, 176, 177, 183, 186, 189, 191, 199—202, 204, 206, 207, 221, 223, 227, 228, 257, 301, 313, 314
Nikiel 30, 92, 119, 176, 209, 231, 263
Nitrogliceryna 126, 147, 148, 197
Nobels Explosives Co. Ltd. 194, 208
Norsk Hydroelektrisk Kvaelstoff Co. 204, 256
Norwegia, Norwegowie 177, 201, 204, 256, 260, 281, 304
Niemiecka Republika Demokratyczna (NRD) 232, 242, 272, 274
Niemiecka Republika Federalna (NRF) 214, 215, 224, 225, 232, 259, 269, 272, 274, 276, 278, 279, 281

Ocet, octany, bezwodnik i kwas octowy 33, 57, 58, 72, 90, 106, 109, 196, 198, 211, 219, 276, 311, 317
Okresowy układ pierwiastków 9, 19, 116, 150, 175, 208, 244, 246
Olejki zapachowe, eteryczne, wonne, pachnidła 37, 39, 45, 56, 77, 164, 281
Ołów, sole i związki 28—31, 38, 43, 47—51, 55, 62, 120, 246, 287, 307
Oświetlenie gazowe, sztuczne 12, 34, 124, 125, 138, 276

Paryż 59, 93, 120, 154, 158, 172, 199, 292, 294, 305, 306
Paliwa ciekłe 175, 176, 190, 209, 212, 219, 222, 225, 228, 229, 243, 281
Papier, papiernie, papiernictwo 37, 45, 46, 55, 56, 58, 78, 100, 107, 127, 130, 149, 164, 203, 243
Petrochemia 7, 212, 214, 215, 221, 223—225, 228, 232, 269, 271, 273—276, 278, 279
Piryty 12, 107, 120, 127, 138, 189, 210, 211, 277, 316
Piza 47, 53, 54
Platyna i pochodne 89, 91, 107, 109, 121, 122, 125, 137, 168, 178, 189
Pluton 229, 251, 252, 254, 255, 258, 259, 261, 283
Polikondensacja 182, 214, 233
Polimery, polimeryzacja 10, 182, 211, 214, 219, 225, 229—231, 233, 234, 309,
Polska 20, 205, 211, 214, 232, 242, 272, 279, 281, 284—289, 291, 297, 301, 302, 307, 309, 311, 312, 314, 316—319
Porcelana 90, 96, 97, 129, 243, 290
Potas i pochodne 12, 19, 89, 91, 107, 113, 115, 120, 122, 123, 137, 138, 153, 164, 187, 191, 194, 200, 209, 210, 241, 263, 277, 311, 316
Potaż 33, 65, 67, 94, 95, 194, 287
Półprodukty (aromatyczne, organiczne) 10, 12, 15, 114, 141, 147, 162, 163, 165, 168, 169, 186, 191—194, 196—200, 209, 214, 215, 268, 269, 272, 276, 282, 311
Promienie alfa, beta, gamma, Roentgena, X 19, 173, 174, 245, 246, 248—252, 258, 261, 264
Promieniotwórczość, substancje, pierwiastki 9, 19, 173, 174, 208, 245, 246, 248—253, 255, 261, 264, 300, 305, 306
Protoaktyn 250, 258
Protony 245, 247—251, 256

Rad 15, 19, 174, 254, 264, 306
Read Holliday and Sons 161, 168, 169, 193, 199

Reakcje (operacje, procesy, zjawiska) fotochemiczne 9, 117, 130
— fotokatalityczne 109
— jądrowe 9, 252, 254, 255, 261
— katalityczne 9, 91, 109, 110, 114, 130, 171, 187
— katalityczno-ciśnieniowe 176
— łańcuchowe 249
— nitrowania 114, 126, 130, 218, 229, 315
— podstawiania 9, 72, 114
— redukcji 72, 106, 120, 130, 175, 176
— spalania 68, 70, 78, 83, 87—89, 91, 101, 102, 252
— utleniania 12, 72, 83, 85, 91, 93, 94, 106, 109, 121, 130, 137, 140, 142, 146, 178, 189, 190, 219, 303
— wymiany 9, 72, 141
Reaktor atomowy, jądrowy 252, 255, 258—260, 262—264
Renard Frères 160, 167
Rosja, rosyjski 87, 89, 108, 158, 159, 170, 190, 194, 196
Rozpuszczalniki 10, 13, 43, 58, 137, 214, 217, 220, 225, 269, 275, 282
Rozbicie, rozszczepienie atomu, jądra atomowego 240, 249, 250, 252, 255, 256, 258, 261
Rtęć 28, 29, 55, 58, 62, 79, 87
Rzym, imperium 22, 26, 29—34, 36, 38, 39, 41, 42, 44, 45, 51, 66, 134

Sacharyna 140, 164, 243
Sahara 212, 214, 279
Saletra 12, 33, 52, 54, 55, 64, 72, 75, 78, 80, 93, 107, 121, 127—129, 138, 155, 156, 177, 179, 188, 189, 191, 192, 198, 202, 204, 210, 241, 268, 287, 311
Sandoz E., Chem. Fabrik 161, 165
Schering E. 184, 207
Siarka 12, 33, 52, 54, 62—64, 75, 78, 83, 93, 94, 107, 108, 120, 122, 126, 128, 129, 138, 153, 189, 197, 203, 208, 210, 211, 242, 263, 268, 274, 277, 287, 316, 318
Siarkopochodne 72, 76, 88, 96, 106, 111, 120, 123, 153, 189, 196, 274, 288
Smary 10, 12, 189, 190, 211, 214, 225, 228, 231, 243, 282, 299, 304
Soda, przemysł 10, 12, 19, 33, 48, 60, 76, 86, 90, 94—96, 107, 108, 121, 127—130, 152—154, 157, 158, 161, 164, 166, 168—170, 180, 187, 193—195, 197—199, 203, 216, 218, 240, 268, 273, 274, 297, 311, 315, 317, 318
Sód metaliczny 113, 120, 187, 193, 198, 209, 241, 245
Spirytus, spirytus drzewny 56, 72, 73, 78, 158, 296
Srebro, sole 28—30, 38, 39, 43, 54, 55, 58, 60, 62, 79, 91, 126, 287
Stany Zjednoczone (USA) 119, 122, 130, 156, 158, 159, 169, 188, 191, 194, 197, 199, 200—203, 205, 211—213, 215, 219, 221, 224, 226—229, 231, 232, 235, 239, 254, 255, 257—260, 263, 264, 268, 269, 272, 274, 276—281
Superfosfat 122, 128—130, 155, 156, 161, 189, 193, 197, 199, 202, 208, 268, 311, 315, 316
Syntezy (ogólnie) 10, 19, 20, 141, 159, 167, 214, 218, 222, 224, 256, 269, 272, 276, 279, 281, 303
Syntezy amoniaku 178, 179, 189, 190, 204, 205, 214, 219, 223, 272
— barwników 15, 141, 142, 143, 162, 167, 179, 182, 198, 301—303
— cyjanowodoru 137, 218, 304
— gliceryny 218, 228
— indyga 143—145, 160, 179, 183, 206
— kauczuku 181, 190
— kamfory 188, 237, 281
— metanolu 214, 219, 223
— mocznika 14, 18, 114, 118, 219
— węglowodorów 117, 176, 214, 222, 223, 301
— witamin 237, 239
Szkło, przemysł 30—33, 37—39, 52—54, 58, 65, 73, 74, 76, 91, 95, 97, 108, 130, 166, 170, 187, 191, 192, 240, 243, 287, 290
Szwajcaria 119, 129, 142, 145, 146, 149, 157, 159—161, 165, 166, 177, 201, 204, 214, 225, 241, 272, 276, 278, 281, 294, 304
Szwecja 87, 88, 123, 188, 201, 260

Teoria atomowa 25, 26, 39, 69—71, 89, 105, 112, 117, 134, 246
— Avogadry 106, 112, 118, 134
— elektrolizy 109, 136, 208

Teoria flogistonowa 14, 65, 78, 80, 83, 84, 86, 89, 101, 102, 289, 291
Tlen 12, 80, 83—88, 91, 92, 97, 101—103, 108, 109, 116, 118, 120, 123, 125, 171, 175, 177, 220, 245, 248, 277, 300, 304, 305
Tlenek węgla 87, 109, 176, 214, 222, 224, 300
Tłuszcze, przemysł 8, 12, 32, 34, 39, 107, 127, 136, 189, 210, 227, 287, 311, 317,
Toluen i pochodne 123, 141, 144, 168, 193, 200, 212, 296
Tworzywa sztuczne 7, 10, 13, 126, 149, 171, 172, 175, 180—182, 209, 216—218, 221, 225, 226, 229—232, 242, 268—273, 275—277, 280, 283, 314, 317, 318

Uboczne produkty 148, 153, 186, 187, 200, 202, 206, 213, 254, 277
United Alkali Corp. Ltd. 168, 208
Uran, związki, blenda smolista 15, 19, 106, 173, 174, 246, 249—255, 257, 258, 261, 263, 305, 306
Utwardzanie tłuszczów 175, 187, 190, 215
Uwodornianie paliw 176, 215, 219, 223, 225

Wapno bielące 98, 121, 195, 197, 311
— palone 31, 33, 34, 87, 89, 125, 287
Weiler-ter-Meer 163, 167, 207
Wenecja 47, 52—54, 56, 63, 74, 225
Węglik boru, krzemu, wapnia 109, 153, 177, 241, 304
Węglowodory aromatyczne 12, 114, 209, 212, 214, 227, 228, 273, 276, 277, 296
— nasycone 175, 176, 222
— olefinowe 214, 222, 277, 309
Wielka Brytania, brytyjskie wyspy 28, 111, 122, 128, 129, 141, 156, 157, 159—161, 164, 167, 168, 178, 184, 192, 193, 201—204, 214, 215, 217, 221, 225, 258—260, 268, 269, 272, 274, 276, 278
Winyl, winyliden i pochodne 225, 229, 230, 233, 236, 275, 280, 317
Witaminy 10, 209, 236, 237, 276, 281
Włochy — Italia 32, 46, 50, 52—54, 56, 59, 74, 76, 159, 188, 194, 196, 201—203, 208, 213, 215, 224, 225, 242, 268, 269, 274, 276, 278, 279, 291
Włókna syntetyczne i sztuczne 7, 10, 78, 149, 180, 181, 214, 216, 218—221, 225, 226, 228, 229, 232—235, 242, 243, 268, 269, 271, 276, 277, 281, 314, 318
Woda ciężka 10, 249, 256, 257
— królewska 54, 75
— mineralna 68, 89, 97, 298
— utleniona 106, 254
Wodór 83, 86, 91—93, 102, 103, 108, 109, 118, 122, 123, 133, 134, 141, 175, 176, 178, 179, 214, 215, 218, 219, 222—224, 241, 245, 248, 249, 256, 259
Wulkanizacja 126, 211, 263
Wytlewanie 34, 75, 140, 176, 177, 190, 308

Zapałki 19, 122, 123, 130, 195
Zgazowanie paliw 12, 125, 171, 186, 215, 277
Złoto 28, 29, 37, 39, 43, 47—49, 51, 54, 58, 60, 73, 286
Związek Radziecki 201, 213—215, 221, 224, 226, 227, 231, 232, 235, 237, 242, 257, 259, 260, 263, 269, 274, 276, 278, 279

Żywice 48, 52, 60, 137, 139, 171, 180, 215, 218, 229, 232, 275, 280, 317

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

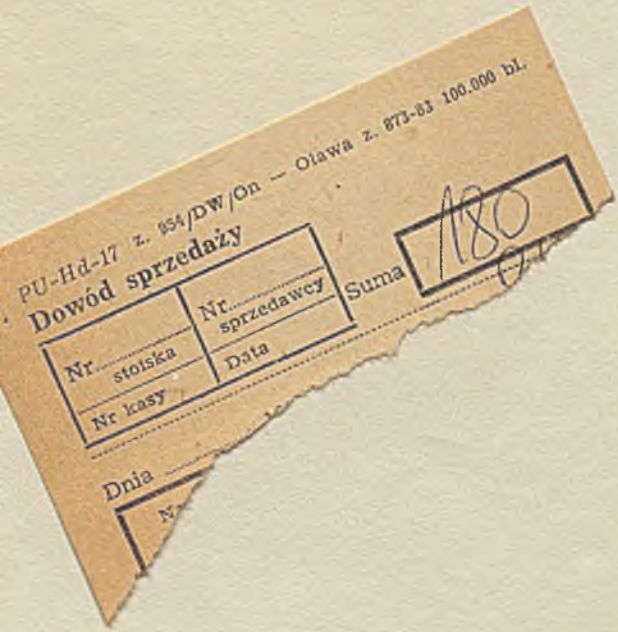
180

4987/7/88

850503

Należy stwierdzić, że zawarty w tytule cel pracy został przez Autora zrealizowany tak pod względem tematycznym, jak i ukazania w ujęciu chronologicznym pewnych faktów i zjawisk. Zasadnicze zadanie, jakim jest naświetlenie rozwoju chemii, a w dalszej kolejności technologii chemicznej, zostało podjęte w oparciu o zasadę, że historia powinna wyjaśnić istniejące powiązania pomiędzy różnymi faktami oraz, że jest ona związana z całokształtem dziejów i stosunków społeczno-kulturalnych, które bez wątpienia niejednokrotnie wpływały w sposób decydujący na powstawanie i kształtowanie się nowych procesów, metod i osiągnięć. Stąd zasadniczy podział okresów rozwoju chemii jest dostosowany w ogólnych zarysach do okresów historycznych.

(z recenzji *prof. dr Stefana Pawlikowskiego*)



Cena zł 50

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE