

BOLESŁAW GOMÓŁKA

ODKRYCIE FOTOSYNTĘZY (W 200 rocznicę ogłoszenia dzieła Jana Ingen-Housza, 1779)

(CZEŚĆ II. WIEK XVIII)

Okres przełomu oświeceniowego

Wiek XVIII to okres przełomu w nauce i poglądach człowieka na otaczający go świat. Charakterystyczną cechą ruchu umysłowego epoki Oświecenia jest rozwój nauk przyrodniczych i rozkwit myśli racjonalistycznej, czerpiącej swe argumenty z dorobku nauk przyrodniczych. Wyrazem tego racjonalistycznego sposobu myślenia było ugruntowanie w nauce owych czasów idei heliocentryzmu, wraz ze wszystkimi jej konsekwencjami w dziedzinie kultury, co szczególnie zaznaczyło się w drugiej połowie tego wieku. Szybko rozbudowujący się przemysł sprzyjał rozwojowi nauk matematyczno-fizycznych i technicznych, a unowocześniane rolnictwo chętnie korzystało z postępów eksperymentalnych nauk przyrodniczych, które coraz skuteczniej wyzwały się spod wpływu średniowiecznej scholastyki. Ścisłość i autentyczność wyników stały się hasłem nauki, a rozwój jej polegał m. in. na doskonaleniu metod i przyrządów badawczych oraz na opracowaniu dokładnych technik obliczeniowych opartych na ogólnym postępie w dziedzinie matematyki. Na ostatnie ćwierćwiecze osiemnastego stulecia przypada również okres narodzin nowoczesnej chemii, a w szczególności zaś chemii gazów. Te istotne przemiany zachodzące w poglądach uczonych na naturę gazowego stanu materii, torowały drogę ku postępowi we wszystkich naukach przyrodniczych. Na zachodzie Europy rozgorzała wówczas wielka dyskusja, towarzysząca ścieraniu się poglądów między obrońcami teorii flogistonowej, a zwolennikami bardziej postępowych tendencji w chemii. Wprowadzenie do badań metody ilościowej i bezwzględne oparcie się na obserwacji i doświadczeniu, jako jedynych kryteriach poznawczych stworzyło podstawy dla powstania chemii nowoczesnej. Zapoczątkowany pracami R. Boylea przewrót w poglądach chemików na strukturę materii stał się impulsem dla rewizji podstawowych metod i pojęć w tej dziedzinie. Należała do nich, odziedziczona jeszcze po alchemikach, procedura ognia, stosująca prażenie i spalanie jako metodę badawczą dla określania właściwości poszczególnych substancji. Dlatego też szczególnym zainteresowaniem badaczy cieszyły się rozważania na temat procesów spalania, podczas których następo-

wały bardzo istotne zmiany postaci badanych ciał. Już w 1669 r. J. J. Becher (1635—1682) wysunął koncepcję, według której tzw. „*terra pinguis*” miała powodować procesy spalania [2]. Teoria ta jest uważana za bezpośrednią poprzedniczkę powstałej około 1697 r. flogistonowej teorii spalania, której twórcą był G. E. Stahl (1660—1734) z Halle. Istotą tej teorii stanowi założenie, że wszystkie substancje palne zawierają w sobie bliżej nieokreśloną materię zwaną „flogistonem”, która uchodzi z nich podczas procesu spalania, dając zjawiska ciepła i światła. Spalając substancje w naczyniach zamkniętych, stwierdzano, że proces spalania nie zawsze przebiega do końca, co tłumaczono ograniczoną pojemnością zawartego tamże powietrza mającego wchłaniać flogiston ulatniający się ze spalanej substancji. Flogiston miał również nadawać metalom cechy szlachetności, natomiast podczas spalania ich miał się on ulatniać, powodując powstawanie mniej szlachetnego „wapna metali”. W związku z tymi ostatnimi procesami stwierdzono, że wbrew przewidywaniom, masa zwapnionego metalu jest większa od masy samego metalu, mimo braku flogistonu w powstałej w tym procesie substancji. Zwolennicy teorii flogistonowej, aby utrzymać w mocy jej założenia teoretyczne, stwierdzili, że flogiston posiada ciężar ujemny, przytaczając nawet dowody eksperymentalne, świadczące na korzyść tej tezy. Jak się później okazało, doświadczenie z ogrzewaną kulą, było niewłaściwie zinterpretowane i nie mogło być potwierdzeniem słuszności teorii flogistonowej. Mimo wielu niekonsekwencji i sprzeczności wewnętrznych, flogistonowa teoria spalania zyskała sobie wśród uczonych dużą popularność jako ogólna teoria zjawisk chemicznych, do czego niewątpliwie przyczyniło się opublikowanie w 1720 r. pracy G. E. Stahla „*Chymia rationalis et experimentalis*”. Teoria ta była stosowana prawie do końca XVIII w. i ona to stała się pierwszą teorią chemiczną, która umożliwiła uporządkowanie procesów i związków chemicznych [23, 25, 34].

O ile w dziedzinie chemii G. E. Stahl był głosicielem, jak na owe czasy, postępowych i twórczych idei, to w naukach biologicznych okazał się zwolennikiem witalizmu. Twierdził on: „ani anatomia, ani fizyka i chemia nie tłumaczą nam żadnych zjawisk życiowych, te ostatnie są bowiem tylko wynikiem tego, że dusza ożywia ciało”. [9]. Jednakże inni badacze nie podzielali tych poglądów i podejmowali nowe eksperymenty mające wyjaśnić naturę procesów życiowych. Do nich należał S. Hales (1677—1761), który przeprowadzał, znakomicie opracowane pod względem metodologicznym, doświadczenia nad roślinami. Badając gazy powstające podczas określonych operacji chemicznych, przeprowadzał je przez kąpiel wodną, uzyskując je w czystej postaci lub też mieszaniny. Jednakże nie rozróżniał on jeszcze poszczególnych gazów, mimo iż badał ich własności, traktując je jako „powietrze”. W dziele „*Vegetable Statics*” wydanym w 1727 r. opisuje swe doświadczenia nad odżywianiem się roślin. S. Hales jako pierwszy zwrócił uwagę na powietrze jako źródło pokarmu roślinnego. Po spaleniu bowiem badanej rośliny otrzymał on tylko nieco popiołu, natomiast ogromna większość masy rośliny zamieniła się w gaz uchodzący do atmosfery. Z faktu tego wysunął słuszny wniosek, że w skład ciała rośliny muszą wchodzić składniki gazowe uwalniane w procesie spalania. Interpretacja taka była zgodna z flogistonową teorią spalania, bowiem substancje roślinne były zaliczane do szcze-

gólnie zasobnych we flogiston, natomiast popiół to właśnie ziemia. Prawdopodobnie towarzyszące procesom spalania zjawiska świetlne dały impuls do przypuszczeń, że w pobieraniu pokarmu z powietrza przez rośliny, w bliższym nie określony sposób uczestniczy światło słoneczne, uszlachetniając substancje organiczne, podobnie jak flogiston metale. S. Hales w ten sposób wyraził swe poglądy: „Rośliny prawdopodobnie wyciągają liśćmi część swego pożywienia z powietrza” oraz „Również światło wchodząc swobodnie przez powierzchnię liści może przyczynić się znacznie do uszlachetnienia składników roślin”. Jak z powyższego wynika S. Hales zdawał sobie sprawę z wymiany gazowej u roślin, a wspominając o uczestniczeniu w tym procesie światła, dał wyraz istnieniu wpływu jego na wzrost roślin. Dzięki obecności światła rośliny rosły lepiej, a więc ono je uszlachetniało. Omówione wyżej eksperymenty możemy uważać za początek badań nad roślinami, prowadzących do odkrycia zjawiska fotosyntezy u roślin. [2, 16, 9, 28, 37, 46]. S. Hales przeprowadził również badania nad gospodarką wodną roślin, dokonując ścisłych pomiarów przy pomocy skonstruowanych przez siebie przyrządów. We wspomnianej już uprzednio pracy „Vegetable Statics” opisał po raz pierwszy ruch cieczy w drewnie i wyjaśnił rolę dwóch współistniejących w tym zjawisku sił. Pierwsza z nich tzw. *vis a fronte* działająca od góry jest zlokalizowana w liściach, natomiast druga kryje się w korzeniach czyli *vis a tergo*, działająca od dołu. Zastosowane przez S. Halesa metody badań pozwoliły mu na ilościowe pomiary transpiracji wody przez obserwowane rośliny. [4]. Wyniki badań S. Halesa przyjęto z pewną nieufnością, ale i z zainteresowaniem o czym może świadczyć ukazanie się tłumaczenia jego książki na język francuski w 1731 r. tj. w parę lat po opublikowaniu jej oryginału (1727).

Zasadnicze znaczenie dla dalszego rozwoju chemii i biologii w XVIII w. miało poznanie składu chemicznego atmosfery, jej niejednorodności i roli poszczególnych gazów w przyrodzie. Na szczególną uwagę zasługują tutaj pionierskie badania J. Blacka (1728—1799), dokonane w latach 1754—1756 na dwutlenku węgla. Przeprowadził on szereg interesujących eksperymentów przedstawionych w pracy „Magnesia alba”, które udowodniły występowanie, obok ciał stałych i płynnych, gazowej formy materii. Ogrzewając węglan magnezu tzw. „*magnesia alba*”, otrzymał tlenek magnezu i gaz, który nazwał „*air fixed*” czyli powietrze stałe. Badania te wykazały również, że „*air fixed*” znajduje się w powietrzu atmosferycznym, bowiem tlenek magnezu oraz tlenek wapnia wystawione na działanie wolnego powietrza po pewnym czasie ponownie zamieniały się w węglany. J. Black udowodnił także, iż gaz otrzymywany zarówno w czasie ogrzewania minerału, jak i działania nań kwasem, jest identyczny z gazem powstającym podczas spalania drewna, oddychania ludzi i zwierząt oraz procesu fermentacji. Zaproponował też metodę ilościowego pomiaru dwutlenku węgla, opartą na zmętnieniu roztworu wodorotlenku wapnia. Badając własności gazu uwalnianego przy prażeniu wspomnianych minerałów, stwierdził, że gaśnie w nim świeca, a więc nie podtrzymuje on palenia się ognia. Umieszczając zapaloną świecę w zamkniętym pojemniku, zaobserwował on gaśnięcie jej po pewnym czasie, co przypisywał obecności dwutlenku węgla w powietrzu, a w istocie gasła ona wskutek zużycia się tlenu, o czym jeszcze wtedy nie wiedziano.

Doświadczenia wykonywane przez J. Blacka wskazywały na to, że powietrze atmosferyczne składa się co najmniej z dwu składników, a gazy je tworzące mogą oddziaływać z innymi substancjami [2, 45]. W 1766 r.

H. Cavendish (1731—1810) odkrył inny gaz (wodór) zwany „powietrzem palnym”, działając kwasem na metale. Gaz ten, po zmieszaniu z powietrzem, przy zetknięciu się z ogniem wybuchał. H. Cavendish był pierwszym, który ważył różne gazy, biorąc objętościowo te same ilości, stwierdzając, że „powietrze palne” jest czternaście razy lżejsze od powietrza. Na podstawie małego ciężaru i nadzwyczajnych zdolności do palenia się H. Cavendish uważał, że gaz odkryty przez niego jest poszukiwanym od dawna „flogistonem” [2, 8]. Dalsze badania w tej dziedzinie doprowadziły do odkrycia złożonej struktury wody, lecz było to możliwe dopiero po wykryciu jeszcze innego gazu zwanego obecnie tlenem. W 1772 r. D. Rutherford (1743—1819) przeprowadził eksperymenty nad spalaniem i oddychaniem, przy czym usuwał on produkt spalania na drodze chemicznej. W wyniku tych eksperymentów wykazał, że pozostały w naczyniu gaz pochodzi z powietrza pierwotnego, którego jest składnikiem. W ten sposób został odkryty główny składnik powietrza atmosferycznego, nieaktywny chemicznie azot. D. Rutherford interpretował swe eksperymenty na gruncie teorii flogistonowej, sądząc, iż pozostały gaz w naczyniu jest w pełni wysycony flogistonem ułatniającym się podczas spalania, toteż odkryty gaz nazwał „powietrzem flogistonowym” [2, 2].

Z początkiem lat siedemdziesiątych XVIII w. został też odkryty tlen przez dwu badaczy pracujących niezależnie od siebie. Pierwszym był C. W. Scheele (1742—1786), który dokonał odkrycia tego gazu w 1771 r., lecz wyniki jego badań zostały opublikowane dopiero w 1777 r. Badaczem, którego osiągnięcia zostały prawie natychmiast ogłoszone i wywarły wpływ na przebieg dalszych badań, był J. Priestley (1733—1804) pracujący prawie równocześnie, lecz niezależnie od poprzednio wymienionego. Odkrycia swego dokonał w sierpniu 1774 r. uważając, że jest to związek „kwasu azotowego, ziemi i flogistonu”. Tlen uzyskał on drogą termicznego rozkładu tlenku rtęci, postępując w poniżej opisany sposób. Umieścił w szklanej probówce nad słupem rtęci metalicznej nieco tlenku rtęci (HgO), a następnie skierował nań promienie słoneczne skupione przez soczewkę. W wyniku termicznej reakcji rozkładu tlenku rtęci, w ognisku soczewki powstał czysty tlen gazowy, który wyparł z kolumny rtęć metaliczną. Badając własności odkrytego gazu stwierdził, że świeca w nim płonie jasnym płomieniem, a myszy czują się dobrze, sam też oddychał nim wyrażając opinię, że „powietrze odflogistonowane”, jak nazwał on odkryty gaz, jest przyjemniejsze od oddychania. Pisał on „kto wie, może po pewnym czasie to czyste powietrze stanie się modnym przedmiotem zbytku. Dotąd rozkoszowały się nim tylko dwie myszy i ja” [2, 23]. J. Priestley był w październiku 1774 r. w Paryżu u pracującego tamże już od dziesięciu lat (1764) A. L. Lavoisiera (1743—1794) powiadamiając go o swych pracach. A. L. Lavoisier powtórzył w 1775 r. te doświadczenia wykonując ilościowe pomiary badanego zjawiska. Stwierdził on, iż gaz ten znajduje się w powietrzu atmosferycznym, tlenkach i kwasach, azotowym, siarkowym i fosforowym.

Badania powyższe przyczyniły się do obalenia teorii flogistonowej i stały się podstawą dla nowoczesnej teorii spalania, ogłoszonej w latach 1777—1781 przez A. L. Lavoisiera. Teoria ta opierała się na następujących założeniach: proces spalania jest procesem syntezy, bowiem polega on na łączeniu się spalanego ciała z częścią otaczającego je powietrza. Aby udowodnić tę tezę, dodatkowo przyjął on, że żadna substancja nie przenika przez szkło retorty z płomienia. Po otwarciu retorty do jej wnętrza wnika powietrze wyrównując ciśnienie, a przyrost masy spalanego produktu jest równoważny ubytkowi powietrza. Badania te doprowadziły A. L. Lavoisiera do sformułowania zasady zachowania materii, wyrażającej się w tym, że suma mas substratów jest równa sumie mas produktów po reakcji. Po doświadczeniach z fosforem, siarką i węglem spalanych w powietrzu i czystym tlenie, A. L. Lavoisier przekonał się, że substancją łączącą się z nimi podczas palenia jest „powietrze życiowe” czyli tlen. Systematyczny wykład nowej idei w chemii zawarł A. L. Lavoisier w swym podręczniku „Traite élémentaire de Chémie” wydanym w 1789 r. zamieszczając tamże pełny wykaz znanych podówczas pierwiastków chemicznych oraz za takie uważanych związków. Interesującym jest fakt, że do pierwiastków zostały zaliczone także światło i ciepło, jako najlżejsze substancje. Oprócz wyżej przedstawionych zasług poniesionych dla rozwoju chemii ogólnej, A. L. Lavoisierowi zawdzięczamy poważny wkład do chemii organicznej, której poświęcił późniejsze lata swej działalności naukowej. Jeszcze w 1781 r. ustalili skład chemiczny gazu zwanego „powietrzem stałym” lub „związany” („air fixé”), identyfikując go jako dwutlenek węgla. Badając następnie szereg substancji pochodzenia organicznego stwierdził, że po spalaniu ciała te dają wodę oraz dwutlenek węgla, a zatem węgiel i wodór uznał za podstawowe ich składniki. W oparciu o swe badania A. L. Lavoisier określił związki organiczne jako połączenia złożonych ordników węglowych [2, 23, 46, 53].

Na ostatnie ćwierćwiecze XVIII wieku przypada również powstanie całkiem nieznaney dotychczas gałęzi chemii, a mianowicie fotochemii. Już w 1760 r. J. H. Lambert (1728—1777) sformułował podstawowe prawa fotometrii, która zajmuje się ilościowym energetycznym opisem promieniowania oraz pomiarami jego źródeł. Ilościowe badania fotometryczne światła nasunęły przypuszczenia o związku między światłem i energią cieplną. W 1777 r. C. W. Scheele, stwierdzając ogrzewanie się ciał pod wpływem padającego nań światła, wprowadził pojęcie tzw. „ciepła promienistego”, wysuwając w ten sposób hipotezę, że światło jest nośnikiem energii cieplnej. C. W. Scheele przeprowadził również eksperymenty z chlorkiem srebra stwierdzając, że światło fioletowe powoduje w sposób najbardziej efektywny ciemnienie tego związku chemicznego. Była to pierwsza próba zbadania wpływu zmiany warunków na przebieg reakcji fotochemicznej, a nie jak dotychczas, proste stwierdzenie zaistnienia faktu oddziaływania światła na substancję chemiczną np. w przypadku blaknięcia barwników. Wyniki swych badań przedstawił C. W. Scheele w pracy „Chemische Abhandlungen von der Luft und von Feuer” wydanej w 1777 r., stwierdzając dogodne perspektywy dla dalszych poszukiwań w zakresie zjawisk fotochemicznych. Są to zjawiska, gdzie energia promieniowania świetlnego nie powoduje ogrzewania się naświetlanej substancji, dając natomiast efekty w postaci procesów chemicz-

nych, np. wydzielanie się czystego srebra po naświetleniu chlorku srebra promieniami świetlnymi [32, 41]. Do zjawisk fotochemicznych zaliczane są także wstępne etapy procesu fotosyntezy, co zaznaczyło się w nazwie wskazującej, że jest to synteza związków pod wpływem działania światła.

Odkrycie procesu fotosyntezy (asymilacji dwutlenku węgla)

Przedstawione powyżej postępy w dziedzinie chemii, wywarły również poważny wpływ na rozwój poglądów w zakresie biologii. Nauka ta zwana wówczas „historią naturalną” z czysto opisowej stała się także nauką eksperymentalną, co wiąże się m.in. również ze zmianą zapatrywań na naturę procesu odżywiania się roślin. Już w 1754 r. Ch. Bonnet (1720—1793) wydał książkę: „Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes...”, w której przedstawił swe badania z zakresu fizjologii roślin, a zwłaszcza wpływu światła na rośliny i rolę liści. Podaje on tam opis doświadczenia nad powstawaniem baniek gazowych na powierzchni liści zanurzonych w wodzie [17, 26]. Rozwijające się rolnictwo szukając teorii dla prawidłowej uprawy roli, nawiązywało do dawniejszych koncepcji, a wyrazem ich mogą być poglądy F. Hom'a (1719—1813). Twierdził on w opracowanym w 1755 r. dziele „Of Agriculture”, że rośliny żywią się „olejem” zawartym w glebie. Obserwował on również korzystny wpływ popiołu, marglu i saletry na plonowanie roślin. Prawdopodobnie doceniał też rolę zjawisk kapilarnych w glebie dla krążenia roztworów glebowych. Podobne poglądy głosił w 1761 r. w pracy „Agricultura fundamenta chimica” J. G. Wallerius), który dopuszczał myśl o pobieraniu pokarmów przez rośliny zarówno z wody jak i z powietrza, natomiast sole mineralne miałyby ułatwić rozpuszczanie się owych „olejów” w glebie i mieszanie się ich z wodą w celu lepszego wchłaniania ich przez rośliny [4, 45].

Miarą aktualności problematyki biologicznej w owych czasach może być również ponowne wydanie w 1769 r. dzieła S. Halesa „Vegetable Staticks”. Procesy życiowe zachodzące w roślinach były zresztą punktem zainteresowania nie tylko praktyków, lecz także absorbowały uczonych, a nawet filozofów. Oto D. Diderot (1713—1784) w 1769 r. w swych „Dialogach filozoficznych” w rozdziale „Rozmowa d'Alamberta z Diderotem” kreśli obraz zależności świata zwierząt od roślin, a tychże od Słońca [6, 43]. Idea ta znalazła swe uzasadnienie w toku dalszych badań przyrodników. Te doniosłe osiągnięcia zostały zapoczątkowane eksperymentami przeprowadzonymi w 1771 r. przez J. Priestley'a (1733—1804). Stwierdził on, że w powietrzu, w którym zgasła paląca się w nim uprzednio świeca, giną także umieszczone tam zwierzęta. Jeżeli jednak w tym powietrzu znajduje się rosnąca gałązka mięty, to jej obecność przywracała temu powietrzu po jakimś czasie zdolność do podtrzymywania ognia i utrzymywania myszy przy życiu. J. Priestley wyciągnął z tego doświadczenia wniosek, że rosnąca roślina dokonywała „oczyszczenia” zepsutego powietrza. Obserwowane oczyszczenie powietrza następowało przede wszystkim wskutek wydalania przez roślinę do atmosfery gazów, zwanego przez niego „powietrzem najczystszym, a także dzięki równoczesnemu pochłanianiu z otaczającego powietrza gazu powstającego wskutek palenia się ognia lub oddychania myszy, zwanego

„powietrzem stałym”. Poszerzając i uzupełniając badania J. Blacka, zdawał sobie J. Priestley sprawę z obecności dwutlenku węgla w powietrzu atmosferycznym, a znając jego własności i nie stwierdzając ich działania po umieszczeniu roślin mógł wysunąć wniosek, że rośliny pochłaniają ten gaz. Eksperymenty te wskazywały na niezbędność roślin dla zwierząt, bowiem umieszczone razem w pomieszczeniu zamkniętym, mysz i roślina, mogły kontynuować swe procesy życiowe, natomiast bez rośliny mysz szybko ginęła. J. Priestley stwierdził ponadto, iż obserwowany przez niego w laboratorium proces „oczyszczania i uzdrawiania” powietrza atmosferycznego występuje w przyrodzie. Oto opis tych doświadczeń: „Miałem szczęście przypadkowo trafić na sposób odświeżania powietrza zepsutego przez palenie się świec i odkryć jeden przynajmniej ze sposobów używanych do tego celu przez przyrodę, jest to roślinność. Ponieważ powietrze potrzebne jest zarówno do życia zwierząt jak i roślin, można by sobie wyobrazić, że i rośliny i zwierzęta wpływają na nie w ten sam sposób. Wyznaję że oczekiwałem tego samego, gdy po raz pierwszy włożyłem gałązkę mięty do odwróconego szklanego słoika stojącego w naczyniu z wodą, gdy jednak hodowałem tę gałązkę tam przez kilka miesięcy, stwierdziłem, że powietrze wewnątrz słoika ani nie gasiło świecy, jak i nie szkodziło myszce, którą tam umieściłem. Po stwierdzeniu, że świece płoną w powietrzu, w którym przez długi czas rosły rośliny, pomyślałem, że można będzie odnowić powietrze zepsute przez palenie się świec. Wobec tego 17 sierpnia 1771 r. gałązkę mięty umieściłem w powietrzu, w którym zgasła po zapaleniu woskowa świeca i stwierdziłem, że 27 tego samego miesiąca inna świeca w tym pomieszczeniu paliła się bardzo dobrze. To doświadczenie powtarzałem bez różnicy w wyniku, nie mniej niż osiem lub dziesięć razy do końca lata. To spostrzeżenie doprowadziło mnie do wniosku, że rośliny zamiast oddziaływać na powietrze w taki sposób, jak oddychające zwierzęta, odwracają wynik oddychania, oczyszczają i uzdrawiają atmosferę, gdy ona stanie się szkodliwa w wyniku życia w niej i oddychania zwierząt lub śmierci i gnicia”. Ten nieco przydługi cytat z dzieła J. Priestleya „Experiments and Observations on Different Kinds of Air” t. 1. opublikowanego w 1776 r. najlepiej charakteryzuje istotę eksperymentów. W sierpniu 1774 roku J. Priestley odkrył „powietrze odfligionowane” czyli tlen, ogrzewając skoncentrowanymi przy pomocy soczewki promieniami słonecznymi tlenek rtęci. Prawdopodobnie również w tym okresie czasu zaobserwował on, że podobnie na świetle zielony nalot na ściankach szklanego naczynia wydziela banieczki odkrytego przez niego gazu. Sądził on, iż jest to osad mineralny wydzielający tlen, w istocie były to zielone glony, o czym badacz ten nie wiedział [2, 5, 19, 21, 46, 53]. Eksperymenty J. Priestleya z roślinami wzbudziły zainteresowanie wśród uczonych, a niektórzy nawet przeprowadzali je powtórnie. Należał do nich współodkrywca tlenu, C. W. Scheele, który w 1777 r. wykonał swe badania, nie potwierdzając jednakże wyników prac J. Priestleya. Również ten ostatni niekiedy w swych dalszych badaniach uzyskiwał wyniki sprzeczne ze wcześniejszymi, wskutek czego nawet zwątpił w ich prawdziwość. Jak się później okazało, przyczyną odmienności wyników badań, było pominięcie roli światła słonecznego w tych eksperymentach. Kolejnym krokiem naprzód było doświadczalne potwierdzenie zachodzącej w omawianym procesie wymiany gazowej między roślinami i otocze-

niem. Wspomniany już wielokrotnie J. Priestley stwierdził w 1778 r. że rośliny zanurzone w wodzie zawierającej rozpuszczony „air fixed” (CO_2) wydzielają odkryty przez niego wcześniej gaz czyli tlen. Jednakże dopiero prace J. Ingen-Housza (1730—1799) stanowiły prawdziwy przełom w badaniach nad odżywianiem się roślin. J. Ingen-Housz, Holender z pochodzenia, stale przebywający we Wiedniu jako lekarz nadworny, latem 1779 r. udał się do Anglii celem przeprowadzenia tam badań nad roślinami. W ciągu tego krótkiego, bo tylko trzy miesiące trwającego pobytu wykonał około pięciuset eksperymentów, które pozwoliły na wyjaśnienie rozbieżności między wynikami prac J. Priestleya i C. W. Scheelego. Wyniki



Ryc. 1. Jan Ingen-Housz (1730—1799) — lekarz i przyrodnik, odkrywca fotosyntezy (1779) swych badań przedstawił J. Ingen-Housz w pracy: „Experiments upon Vegetables...” opublikowanej w 1779 roku. Pisał on: „Zauważyłem, że rośliny mają zdolność poprawiania złego powietrza, nie tylko rosnąc w nim przez 6 do 10 dni, jak wskazują doświadczenia dra Priestleya, lecz że całkowicie wykonują to ważne zadanie w kilka godzin, że to dziwne działanie w żadnym wypadku nie jest spowodowane vegetacją rośliny, lecz wpływem światła słonecznego na roślinę. Zauważyłem,

że rośliny mają ponadto zadziwiającą zdolność przerabiania zawartego w nich i niewątpliwie stale z atmosfery pochłanianego powietrza, na powietrze prawdziwe, pozbawione flogistonu, że one stale wylewają, jeżeli tak mogą się wyrazić, strumień tego oczyszczonego powietrza, które rozpraszając się w ogólnej masie atmosfery przyczynia się do tego, iż staje się ona bardziej przydatna dla życia zwierząt, że to działanie wcale nie przebiega stale, lecz zaczyna się dopiero po pewnym czasie, gdy słońce ukaże się nad horyzontem i swoim wpływem przygotowuje rośliny do rozpoczęcia od nowa dobroczynnego oddziaływania na powietrze, a przez to i na zwierzęta, które to działanie było wstrzymane podczas ciemności nocy." [46]. Najistotniejszym rezultatem badań J. Ingen-Housza było wykazanie niezbędności światła słonecznego dla dokonywania przez rośliny procesu „oczyszczania” powietrza atmosferycznego i dlatego badacz ten jest uważany za odkrywcę procesu fotosyntezy u roślin zielonych. W toku tych eksperymentów stwierdzono, że rośliny na świetle pochłaniają powietrze „skażone” paleniem się ognia lub oddychaniem zwierząt i ludzi i wydają z siebie powietrze „życiowe” do otaczającej je atmosfery. Owa zdolność do odświeżania powietrza jest wprost proporcjonalna do jasności dnia i długości okresu działania Słońca na rośliny. Wspomnianą wyżej zdolność do „oczyszczania” powietrza wykazują tylko zielone części roślin. W ciemnościach natomiast, podobnie jak zwierzęta, wydają rośliny powietrze „stałe”, przy czym miały one w nocy pobierać tyle samo tlenu, ile wydawały dwutlenku węgla. Zgodnie z panującymi wówczas zwyczajami w nauce, w 1781 r. J. Priestley powtórzył obserwacje J. Ingen-Housza nad wpływem światła na rośliny zielone, uzyskując potwierdzenie wyników badań. J. Priestley wyraża na podstawie swych badań pogląd, że w procesie oczyszczania powietrza dużą rolę odgrywają liście roślin zielonych. [15, 19, 33, 37, 46, 54]. Oprócz badań eksperymentalnych, charakterystyczną cechą owych lat był ożywiony ruch wydawniczy w zakresie publikacji naukowych, a przykładem tego może być ukazywanie się tłumaczeń dzieł zarówno dawniejszych jak i najnowszych. Oto w 1779 r. zostaje wydane w Paryżu ponownie francuskie tłumaczenie S. Halesa „Vegetable Staticks” (1727), ukazało się ono także po niemiecku w 1784 r., a były jeszcze wydania w języku holenderskim i włoskim. Również praca J. Ingen-Housza z 1779 r. ukazała się dwukrotnie w Lipsku i Paryżu i to w stosunkowo krótkim odstępie czasu, bo w 1780 i 1787 r., co świadczyć może o dużym zainteresowaniu tymi badaniami [26]. Ostatnia redakcja wyników badań J. Ingen-Housza przedstawionych w pracy „Essay on the Food of Plants and the Renovation of Soils” z 1796 r. określa już proces odżywiania się roślin w sposób zbliżony do nowoczesnego. W oparciu o ostatnie prace A. L. Lavoisiera o roli tlenu w przyrodzie oraz analizy wody i powietrza, stwierdził on, że pobierane „powietrze” z atmosfery przez rośliny zielone jest dwutlenkiem węgla, a wydzielane stanowi tlen, przy czym związkiem reagującym jest CO_2 , natomiast tlen jest produktem tego procesu. J. Ingen-Housz sugerował, że udział światła w procesie oczyszczania atmosfery polega na rozszczepianiu dwutlenku węgla pochłoniętego przez rośliny na tlen wydzielany przez nie i węgiel pozostający w roślinach jako źródło węgla dla wytwarzania substancji organicznych, potrzebnych do budowy organizmu rośliny. Na tej podstawie podzielił on organizmy żywe na dwie zasadnicze grupy: rośliny

zielone, które mogą wykorzystywać energię promienistą Słońca i asymilować dwutlenek węgla i drugą pozbawioną chlorofilu i nie mogącą podejmować tej czynności. W ten sposób „powietrzne” odżywianie się roślin, o którym wspominał już S. Hales, uzyskało eksperymentalne potwierdzenie. Ówczesne badania dowiodły, że rośliny w nocy i w cieniu wydzielają dwutlenek węgla przy oddychaniu i na tej podstawie wyróżnił dwa podstawowe procesy w życiu roślin, a mianowicie asymilację (fotosynteza) i oddychanie. J. Ingen-Housz przypuszczał, że rośliny również na świetle nie przestają oddychać, a zatem wydzielają dwutlenek węgla podobnie jak zwierzęta, jednakże proces ten ulega zamaskowaniu wskutek równoczesnej asymilacji CO₂. Sumaryczna wymiana gazów między rośliną a otoczeniem jest wynikiem istniejącej równowagi między fotosyntezą a oddychaniem. Współczynnik fotosyntezy określający stosunek wydzielonego tlenu do pobranego dwutlenku węgla jest bliski jedności [5, 15, 19, 46, 51, 53]. Podobne badania przeprowadzali również inni uczeni, wnosząc nowe dane na temat omawianego tutaj chemizmu przemian substancji w roślinach.

W latach 1782—1791 J. Senebier (1742—1809) opublikował wyniki swych wieloletnich badań nad wpływem światła na roślinność, uzupełniając i rozszerzając wiedzę w tym przedmiocie. Były to prace: „Mémoires physico-chimiques sur l'influence de la lumière solaire pour modifier les etres de trois régnes, surtout ceux du regne végétal”. Vol. 1—3. 1782—83, „Expériences sur l'action de la lumière dans la végétation”. 1788 oraz „Physiologie des plantes”. 1791. J. Senebier wykazał za pomocą przedstawionych tamże eksperymentów, że czynnik skażający powietrze atmosferyczne zwany „powietrzem związanym” stymuluje proces oczyszczania powietrza przez rośliny na świetle, a oczyszczanie to polega na wydzielaniu przez rośliny innego gazu zwanego „powietrzem życiowym”. Według teorii flogistonowej rośliny na świetle miałyby zatrzymywać w sobie część „flogistonową” pochłanianego powietrza, natomiast wydelały do atmosfery „powietrze odflogistonowane”. Zgodnie z nowoczesną nomenklaturą, uczestniczące w procesie fotosyntetycznej wymiany gazowej między rośliną a otoczeniem gazy: pochłaniany to dwutlenek węgla, a wydalany — tlen. J. Senebier stwierdził, że ilość pobieranego przez rośliny dwutlenku węgla jest objętościowo równoważna ilości wydalanego przez nie tlenu, a zatem wysunął on przypuszczenie, że ów tlen może pochodzić z rozkładu substancji pochłanianej (CO₂). Eksperymenty te wskazywały również na niezbędność obecności dwutlenku węgla w „oczyszczanej atmosferze”, bowiem jeżeli zostanie on związany uprzednio przy pomocy wody wapiennej, to rośliny nie wykazują swej zdolności do jej poprawiania, gdyż nie wydzielają wówczas tlenu. Ponadto J. Senebier zwrócił uwagę na udział wody w procesach tworzenia substancji organicznych w roślinach podczas zachodzenia procesu fotosyntezy. Stwierdził on także jako pierwszy, szczególną aktywność promieniowania czerwonego podczas fotosyntezy, umieszczając badane rośliny w naczyniach o podwójnych ściankach zawierających także roztwory różnych barwników. Interesował się również zielonym barwnikiem roślin i podjął próby jego wyizolowania [4, 19, 27, 37, 45].

Badania nad odżywianiem się roślin miały znaczenie nie tylko dla biologii, lecz także dla chemii, bowiem wyjaśniając powstawanie substancji palnych w roślinach

i zachodzące podczas tego procesu przemiany chemiczne substancji, znakomicie przyczyniały się do obalenia teorii flogistonowej. Wydzielany przez rośliny tlen jednoznacznie wskazywał na charakter przemian będący procesem przeciwnym do procesu spalania, toteż proces ten określano mianem „dekombustji”. Wiążąc te procesy z oddziaływaniem światła na rośliny, badania te również przyczyniały się do zrozumienia roli Słońca i światła w przyrodzie.

Literatura zostanie zamieszczona w części III i posiada numerację ciągłą dla wszystkich części.