

Proces doskonalenia się instrumentarium badawczego nauk laboratoryjnych

Wstęp

Rosnące społeczne zapotrzebowanie na coraz doskonalsze detergenty, farmaceutyki, środki ochrony roślin, nawozy i wiele innych produktów wytwarzanych w laboratoriach jest jednym z powodów dynamicznego rozwoju nauk laboratoryjnych na przełomie XX i XXI wieku. Znaczenie badań prowadzonych i uzyskiwanych w laboratoriach wpływa na postęp cywilizacyjny doświadczany za sprawą codziennego, często nieświadomego, kontaktu z coraz doskonalszymi rezultatami prac m.in.: chemików, farmaceutów czy biotechnologów. Jeżeliby wziąć pod uwagę tę „statystykę dnia codziennego”, to refleksja nad praktyką badawczą nauk laboratoryjnych powinna zajmować szczególne miejsce w rozważaniach z zakresu filozofii nauki. Tymczasem tradycja filozofii nauki i wiele kategorii metodologicznych ukształtowane są przede wszystkim na gruncie filozoficznej spekulacji na temat fizyki. Co jest źródłem takiego stanu rzeczy? Odpowiedź na to pytanie nie jest przedmiotem moich rozważań, ale należy zauważyć, iż między innymi z tego powodu zadanie uchwycenia fenomenu praktyki badawczej nauk laboratoryjnych jest swoistą filozoficzną i metodologiczną „terra incognita”.

Próba zapalenia tej luki w filozoficznej refleksji nad przyrodoznawstwem jest charakterystyka nauk laboratoryjnych zaproponowana przez Iana Hackinga¹. Autor ten w artykule pt. *The Self-Vindication of the Laboratory Sciences* charakteryzuje nauki laboratoryjne przez wyliczenie składników tej praktyki, które grupuje w trzy zbiory elementów: materialnych, intelektualnych i znaków. Do składników „materialnych” Hacking zalicza: urządzenia i instrumenty laboratoryjne, substraty i odczynniki oraz wszystkie materialne obiekty, którymi badacz manipuluje w laboratorium (np.: szczepy bakterii, elektrony, zwierzęta laboratoryjne). Szeroko rozumiane zaplecze teoretyczne, a także niewyartykułowana „wiedza towarzysząca”, wyznaczają konglomerat „intelektualnych”

* Dr Radosław Kazibut, Instytut Filozofii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

¹ Hackingowi nie udało się zaproponować ścisłego kryterium odróżnienia nauk laboratoryjnych od innych dyscyplin przyrodoznawstwa. W poniższych rozważaniach przyjmuję, iż paradygmatycznym przykładem nauk laboratoryjnych jest chemia. Elementy laboratoryjnego stylu badawczego chemii pozwalają uchwycić specyfikę nauk laboratoryjnych [zob. Zeidler P., 2011, s. 13-28].

składników struktury nauk laboratoryjnych. Ostatnia grupa elementów – nazwana przez Hackinga „znakami” – jest zbiorem danych empirycznych i symbolicznie wyrażonych zinterpretowanych wyników eksperymentów. Ponadto argumentuje on na rzecz tezy o „samouprawomocniającym się” charakterze tej struktury, w której to elementy jednej grupy definiują rolę i status elementów grupy innej. W przekonaniu Hackinga istota praktyki badawczej nauk laboratoryjnych jest określona przez swoje sprzężenie i ze-strojenie wyodrębnionych przez niego elementów. Dlatego też cechą charakterystyczną nauk laboratoryjnych jest stabilność rozwoju praktyki badawczej tych dyscyplin [Hacking, 1992, s. 26-94].

W artykule tym rozszerzę charakterystykę Hackinga i wykazę, iż można mówić nie tylko o „samouprawomocniającym się” charakterze struktury nauk laboratoryjnych, ale także o mechanizmie doskonalenia się w kontekście rozwoju ich instrumentarium badawczego. W dziejach nauk laboratoryjnych obserwujemy proces zaostrzania standardów prac laboratoryjnych i budowania coraz bardziej skomplikowanego instrumentarium badawczego, co prowadzi do dokonywania coraz to bardziej spektakularnych odkryć. Hacking podkreśla, iż kolejne etapy procesu „dojrzewania” nauk laboratoryjnych miały charakter ewolucyjnego rozwijania wcześniej przyjętych przez badaczy ustaleń i zasad praktyki laboratoryjnej [Hacking, 1992, s. 30]. Śledząc dzieje nauk laboratoryjnych, można zauważyć, iż kolejne pokolenia uczonych wznosiły na coraz wyższy poziom standardy prac laboratoryjnych. Nie sposób wskazać takiego etapu rozwoju tych dyscyplin przyrodoznawstwa, który można byłoby uznać za regresywny w stosunku do wcześniejszego okresu. Dlatego też sądzę, iż można mówić w przypadku nauk laboratoryjnych o ewolucyjnym i kumulatywnym procesie doskonalenia się instrumentarium badawczego tych dyscyplin. Kolejne etapy w dziejach nauk laboratoryjnych były swoistą „korektą” poprzednich – odwołując się do języka Lakatosa – „postępowym przesunięciem problemowym”.

Argumentować będę na rzecz tezy, iż w kolejnych etapach ewolucji nauk laboratoryjnych, w znaczącym stopniu stawiane problemy badawcze determinowały przymus doskonalenia się instrumentarium badawczego tej praktyki naukowej. Badacze, aby móc dokonywać kolejnych odkryć, musieli wprowadzać do swoich pracowni między innymi coraz lepsze urządzenia i precyzyjniejsze instrumenty pomiarowe, ale także doprecyzowywać przyjmowane schematy pojęciowe. Właśnie potrzeba rozwiązania dotychczasowo „nierozstrzygniętych zagadek” lub zapotrzebowanie na nowe rezultaty badawcze implikowały konieczność podnoszenia standardów prac laboratoryjnych.

Podjmując zadanie uzasadnienia stawianej tezy, przeanalizuję wybrane aspekty rozwoju instrumentarium badawczego nauk laboratoryjnych. Przyjmuję, iż proces ten można opisać w czterech etapach: faza paralaboratoryjna – alchemia, faza protolaboratoryjna – laboratoryjne badania Boyle’a, faza laboratorium „dojrzałego” – praktyka Lavoisiera

ra, faza nowego laboratorium – nauki laboratoryjne po rewolucji instrumentalnej². W odniesieniu do każdego z wyodrębnionych okresów wskażę problem badawczy, który należy uznać za jeden z głównych czynników wymuszających na uczonych potrzebę zrewidowania dotychczasowo obowiązującego instrumentarium badawczego. Wyszczególnię, które ze składników struktury nauk laboratoryjnych – w ujęciu Hackinga – zostały na danym etapie rozwoju nauk laboratoryjnych udoskonalone.

Paralaboratorium – warsztat alchemika

Głęboko zakorzenionym wśród historyków nauki poglądem jest przekonanie o tym, iż prace alchemiczne miały zasadniczo doświadczalny charakter. Jednakże alchemicy przeprowadzali swoje eksperymenty w sposób niechlujny i niesystematyczny [Newman, 2000, s. 35]. Praktykowanie takiego niefrasobliwego stylu badania miało przesądzać o tym, iż alchemikom nie udało się zrealizować ich głównego celu, czyli odkryć „kamienia filozoficznego”. Ponadto generowana w wyniku prac alchemicznych wiedza musiała być bezwartościowa poznawczo, gdyż ze względu na nonszalancki i dyletancki styl pracy alchemików – maskowany aurą tajemniczości – była ona intersubiektywnie niekomunikowalna i niesprawdzalna, a rezultaty ich prac były przede wszystkim niepowtarzalne [Principe, 2000, s. 57]. Należy zwrócić uwagę na to, iż ten brak intersubiektywnie sprawdzalnych wyników prac badawczych alchemików w dużym stopniu zdecydował o odrzuceniu przez luminarzy nowożytnej nauki „teoretycznego” fundamentu praktyki alchemicznej arystotelesowskiej teorii „czterech żywiołów”. Ugruntowanie się w kulturze takiego wyobrażenia o alchemii dokonało się zapewne w dużej mierze za sprawą „faustowskiego” sportretowania alchemii, w którym na pierwszy plan wysunięty został ezoteryczny składnik działalności alchemików. Zaowocowało to w XX wieku ogromną popularnością jungowskiej interpretacji praktyki badawczej alchemików, w myśl której teksty alchemiczne nie opisują przekształceń substancji chemicznych, ale są sprawozdaniami ze stanów podświadomości alchemika [Principe, 2000, s. 55]. Jeżeliby przyjąć przedstawioną powyżej charakterystykę alchemii, to należy uznać, iż w najmniejszym stopniu dyscyplina ta nie spełnia wymogów naukowości. Tym samym nie można mówić – w przypadku warsztatu alchemika – o żadnej formie działalności para-laboratoryjnej,

² Przyjmuję, że sposób respektowania zasady intersubiektywnej powtarzalności i odtwarzalności warunków oraz wyników prac laboratoryjnych można uznać za kryterium demarkacyjne między wyodrębnionymi fazami rozwoju nauk laboratoryjnych. Rozróżnieniem tym posługuję się w rozumieniu Petera Plescha, zaproponowanym w artykule pt. *On the Distinctness of Chemistry*. „Powtarzalność” jest działaniem nastawionym na analizę jakościowego aspektu badanego zjawiska przy jednoczesnym pominięciu jego aspektu ilościowego. Celem „odtworzenia” jest otrzymanie, w powielanych eksperymentach identycznej, w granicach dopuszczalnego błędu, charakterystyki ilościowej badanego zjawiska. Warunkiem koniecznym odtwarzalności jest powtarzalność warunków i wyników przeprowadzanego eksperymentu, ale nie na odwrót [Plesch, 1999, s. 6-15].

ale pseudolaboratoryjnej, a ściślej rzecz biorąc pseudonaukowej. Jednakże – jak wykazuje William R. Newman w artykule pt. *Alchemy, Assaying and Experiments* – przekonanie o braku analitycznego „zacięcia” alchemików, w świetle materiału faktograficznego, jest całkowicie nieuzasadnione. Autor ten dowodzi, iż alchemicy stosowali w swoich badaniach dwa podstawowe narzędzia analityczne: wagę szalkową i palnik używany przy destylacji oraz w tzw. analizie ogniem. Alchemicy stosowali z powodzeniem te instrumenty na długo wcześniej, zanim stały się one powszechnie wykorzystywane przez rzemieślników. Ponadto ze względu na pojawiające się problemy badawcze wykazywali również ogromną pomysłowość w ich doskonaleniu [Newman, 2000, s. 35-54]. Należy pamiętać, iż to, co dziś identyfikujemy jako alchemię, jest zjawiskiem całkowicie niejednorodnym zarówno w perspektywie historycznej (np. starożytna alchemia egipska, grecka, europejskiego średniowiecza, ale także XVI i XVII wieku), a także w kontekście kulturowym (np. zasadnicze różnice między alchemią chińską a europejską). To, co jest tożsame dla tych wszystkich odmian praktyki alchemicznej – to połączenie składnika egzoterycznego-materialnego ze składnikiem ezoterycznym-duchowym [Brock, 1999, s. 17]. Materialnym elementem praktyki alchemicznej jest wyposażenie ich warsztatów, m.in.: alembiki, pelikany, piece, a także metodyka ich wykorzystywania. Z kolei arystotelesowska koncepcja „czterech żywiołów”, wraz ze swoiście rozumianym holizmem i witalizmem, konstituowała ezoteryczne jądro alchemii. Arystoteles dowodził, że przemiany substancjalne zachodzą poprzez przekształcenie formy ognia, wody, ziemi i powietrza, przy czym każdorazowo zachowany zostaje stały składnik każdej materii – *prima materia* [Crombie, 1960, s. 161-162]. To założenie wyznaczyło główny problem badawczy alchemików. Wydobycie z dowolnej substancji postulowanej przez Arystotelesa esencji i nasycenie jej określonymi właściwościami po to, aby uzyskać nową substancję, np. przekształcić metal w złoto, było marzeniem alchemików. W ten sposób wyodrębniły się trzy główne nurty badań alchemicznych: transmutacja metali nieszlachetnych w złoto, otrzymanie uniwersalnego leku – eliksiru życia oraz prace skoncentrowane na uzyskaniu wyciągów do produkcji olejków, pachnidel lub destylatów alkoholowych [Moran, 2005, s. 8-36]. W tak swoisty sposób ujęty intelektualny składnik praktyki alchemicznej wymusił konieczność doskonalenia metod i narzędzi służących do uzyskiwania różnych esencji. Poszukiwanie „kamienia filozoficznego” spowodowało, iż alchemia stała się sztuką destylacji, oczyszczania i analizy składników badanych substancji. W *Summa perfectionis* i wielu innych tekstach alchemicznych wylicza się, iż takie właściwości substancji, jak: waga, palność, kolor, ciągliwość, punkt wrzenia i topnienia, pozwalają odróżniać jedną substancję od drugiej [Newman, 2000, s. 49]. Z całą pewnością alchemik nie byłby w stanie określić jakiegokolwiek z tych właściwości substancji, gdyby nie posługiwał się odpowiednimi narzędziami, np.: wagą, palnikiem, zestawem do destylacji. Jak wnioskuje Newman, przyczyną „porażki” alchemików było to, iż nie

zaufali uzyskiwanym świadectwom empirycznym otrzymywanym dzięki zastosowaniu wymienionych instrumentów [Newman, 2000, s. 49]. Stworzenie „kamienia filozoficznego” było dla alchemików centralnym problem badawczym. Paradoksalnie, ich głębokie przekonanie o możliwości uzyskania na drodze destylacji „podstawowego substratu wszechrzeczy” zdecydowało o tym, iż nie docenili doniosłości metody empirycznej i bezkrytycznie trwali przy koncepcji Arystotelesa. Dogmatyczne przywiązanie alchemików do autorytetu Arystotelesa zdecydowało o tym, iż w obrębie składników intelektualnych nauk laboratoryjnych – w ujęciu Hackinga – nie byli oni w stanie zaproponować alternatywnej i lepszej niż arystotelesowska teorii substancji. Jednocześnie, zadanie poszukiwania „kamienia filozoficznego” wymusiło na alchemikach konieczność doskonalenia umiejętności i instrumentów związanych z metodami destylacji i kupelacji. Zatem w obrębie elementów umieszczonych przez Hackinga w grupie składników materialnych nauk laboratoryjnych alchemikom udało się osiągnąć relatywnie wysoki poziom rozwoju instrumentarium badawczego. Przełożyło się to na wypracowanie szczególnego typu wiedzy proceduralnej, która „zaowocowała” uzyskaniem pewnych rezultatów poznawczych w postaci klasyfikacji między innymi soli, alunów i niektórych kwasów [Newman, 2000, s. 37].

Protolaboratorium

Robert Boyle – ojciec nowożytnej chemii analitycznej

Wkład Roberta Boyle’a do teorii i praktyki chemicznej zdecydował między innymi o tym, iż w XVII stuleciu dokonała się wielka rewolucja naukowa. Przełom ten stał się możliwy dzięki temu, iż udało mu się w metodyczny sposób wprowadzić do laboratorium założenia baconowskiej metody eksperymetalno-indukcyjnej. Pionierskość prac Boyle’a wynikała w dużym stopniu z tego, iż w badaniach zastosował nowe różnorodne instrumenty³. Eksperymentowanie za ich pomocą dało mu atut tworzenia izolowanych układów doświadczalnych i olbrzymią możliwość kontrolowania przebiegu doświadczenia [Shapin, 2000, s. 90-91]. Ponadto Boyle miał świadomość tego, iż rezultaty badań eksperymentalnych muszą być intersubiektywnie sprawdzalne i powtarzalne. „Odtworzenie (czyli reprodukcja) analizowanego ciała, jeśli uda się przeprowadzić je dokładnie i skutecznie, może rzucić światło na wiele szczegółowych zagadnień filozoficznych i z pewnością będzie radośnie powitane przez zwolenników hipotezy atomowej”⁴. Ta perspektywa metodologiczna przesądziła o tym, iż Boyle był zdeklarowanym i jednym z najzna-

³ W przypadku Boyle’a jest to przede wszystkim „legendarna” pompa próżniowa, która jest tylko jednym z wielu urządzeń, za sprawą którego dokonała się rewolucja naukowa. Obok wspomnianej pompy można między innymi wymienić wagę hydrostatyczną, teleskop, mikroskop, wahadło, barometr i termometr.

⁴ R. Boyle, *Works*, t. 1, s. 372, podaję za D. Thorburn Burns, 1986, s. 97.

mienitszych zwolenników mechanicyzmu. W traktacie *About the Excellency and Grounds of the Mechanical Hypothesis* z 1674 roku wyliczył argumenty decydujące o wyższości filozofii mechanicystycznej nad doktryną Arystotelesa. Filozofia mechanicystyczna, w przeciwieństwie do „teorii żywiołów”, wyjaśnia naturę rzeczy w przystępny i jasny sposób. Zakłada na poziomie ontologicznym istnienie dwóch zasad: istnieje materia i jej ruch. Są to najbardziej elementarne i nieredukowalne zasady, znajdujące wszechstronne i uniwersalne zastosowanie w procesie poznania świata przyrody [Boyle, 1991, s. 139-141].

W szeregu swoich traktatów, które są skrupulatnymi zapisami przebiegu i wyników prowadzonych przez niego eksperymentów, Boyle omówił analizy różnych substancji chemicznych i roztworów, doświadczenia pod zmniejszonym ciśnieniem, pomiary ciężaru właściwego, szereg analiz biochemicznych oraz tzw. eksperymenty dotyczące ognia. Wszystkie grupy doświadczeń, ale przede wszystkim ta ostatnia, dostarczyły mu ewidencji empirycznej, na podstawie której sformułował krytykę tradycji alchemicznej i wykazał ograniczenia arystotelesowskiej koncepcji przemiany substancji. W *The Sceptical Chymist* z 1661 roku Boyle prezentuje swój negatywny stosunek do alchemii. Sprzeciwił się przekonaniu, iż analiza przy użyciu ognia jest uniwersalną metodą rozdzielania substancji do podstawowych pierwiastków. Odrzucał również pogląd o istnieniu grupy podstawowych substratów (cztery żywioły arystotelików) oraz ideę istnienia piątego składnika [Eaton, 2005, s. 97]. Drobiazgowo przeprowadzane i powtarzane doświadczenia uwydatniły szczególną przydatność eksperymentalno-indukcyjnej metody. Boyle zrozumiał to, co nie udało się pojąć alchemikom – w poznaniu naukowym nie ma miejsca na dogmatyczne utrzymywanie koncepcji, tym bardziej wtedy, kiedy przeciwko niej przemawia uzyskiwana ewidencja empiryczna. Boyle podzielił prace eksperymentalne na dwa typy: „sondujące” i „badawcze”. Zadaniem eksperymentów „sondujących” było sprawdzenie założeń teoretycznych uwzględnionych w projektowaniu układu doświadczalnego, a także ocena „czystości” używanych substratów i kalibracja użytych instrumentów. W ramach eksperymentów „badawczych” Boyle testował hipotezy i eksperymentalnie weryfikował potocznie żywione przekonania [Levere, 2001, s. 20]. Uzbrojony w takie narzędzia metodologiczne mógł podjąć systematyczne badania, na bazie których przeprowadził krytykę dokonań alchemików. W ten sposób ukonstytuowały się główne problemy badawcze, które podjął w swoich pracach. Po pierwsze – opracowanie standardów prowadzenia prac laboratoryjnych, po drugie – zweryfikowanie obiegowych przeświadczeń z gruntu wiedzy potocznej i zgromadzenia rzetelnej bazy empirycznej, po trzecie – wykazanie fałszywości tez alchemików.

Boyle w swoim laboratorium nie tylko konstruował nowe instrumenty badawcze, takie jak wspomniana już pompa próżniowa, ale także udoskonalał już istniejące narzędzia (np. waga hydrostatyczna). Wykazywał się przy tym zarówno pomysłowością, jak i szeroką wiedzą, którą czerpał z różnorodnych źródeł. Przeprowadził wiele ekspery-

mentów, stosując analizę za pomocą ognia do różnych substancji, między innymi: drzewa Gaujacum, bursztynu, złota, kamfory, siarki i ludzkiej krwi. Zmieniał nie tylko substancje poddawane analizie, ale także metody: podgrzewał substancje w otwartym kominie, w retorze, czasem gwałtownie, a czasem w kąpieli wodnej [Eaton, 2005, s. 95]. Ten ogrom prac eksperymentalnych zaowocował zgromadzeniem imponującej ilości danych empirycznych. Paradoksalnie ten tytaniczny nakład pracy wykonanej przez Boyle'a sprawił, iż musiał się on borykać z problemem zinterpretowania danych w aspekcie ilościowym. Z całą pewnością można go uznać za prekursora tychże badań. Jednakże nie udało mu się w wystarczający sposób wyeksplikować zależności między aspektem jakościowym a ilościowym prowadzenia badań doświadczalnych. Powodem tego mogło być to, iż jego praktyka laboratoryjna była swoistą hybrydą działań. Z jednej strony zbieranie faktów naukowych – historia naturalna, a z drugiej strony – filozofia mechanicystyczna – pełniła funkcję wyjaśniającą w ramach filozofii naturalnej. Sukces Boyle'a polegał na tym, iż udało mu się dowieść fałszywości poglądów alchemików za pomocą metody eksperymentalnej, która wykazała, iż badania doświadczalne muszą być podejmowane na dwóch płaszczyznach: jakościowej i ilościowej. O tym, iż jego prace należy traktować jako protolaboratoryjne, przesądza to, iż nie udało mu się dostatecznie jasno i jednoznacznie wyświetlić obustronności stosunku między aspektem jakościowym a ilościowym prowadzonych przez niego prac doświadczalnych.

Podsumowując, należy stwierdzić, iż w przypadku laboratoryjnych prac Boyle'a bez wątpienia zachodzi proces doskonalenia się nauk laboratoryjnych – w stosunku do praktyki alchemicznej – zarówno w zakresie składników materialnych, intelektualnych, jak i wyników. W grupie składników materialnych laboratorium Boyle'a przewyższało standardy prac alchemików, gdyż udało mu się stworzyć izolowane układy laboratoryjne poprzez wprowadzenie do laboratorium nowych urządzeń, których symboliczną reprezentantką jest pompa próżniowa. W warstwie intelektualnej przewyciężył dokonania alchemików, tworząc i udoskonalając procedury analitycznego badania związków chemicznych, a także zastąpił teorię arystotelesowską alternatywnym aparatem wyjaśniającym – teorią mechanicystyczną. Ponadto Boyle zmodyfikował metodę eksperymentalną w taki sposób, iż stworzył podstawy dla intersubiektywnej sprawdzalności i kontrolowalności warunków oraz rezultatów prac laboratoryjnych. Podstawowym jego problemem badawczym było nie tylko zgromadzenie jak największej i usystematyzowanej wiedzy przyrodniczej, ale także uchwycenie mechanizmu przekształcania jednej substancji chemicznej w inną. W obu przypadkach osiągnął znaczący postęp w stosunku do prac alchemików. Zgromadził ogromną ewidencję empiryczną, której znaczenia dla rozwoju wiedzy generowanej przez nauki laboratoryjne trudno nie docenić, a także ugruntował mechanicystyczny paradygmat XVII-wiecznej nauki. Wskazane osiągnięcia Boyle'a świadczą o tym, iż za jego sprawą zostały znacząco zwiększone standardy prac laborato-

ryjnych. Dlatego też należy uznać, że w przypadku „boyle’owskiego laboratorium” można mówić o „postępowym przesunięciu problemowym”.

Laboratorium „dojrzałe” – rewolucja Lavoisiera

Dzieje każdej rewolucji można ująć jako trzyetapowy proces: narastania nastrojów rewolucyjnych – jest to swoisty prolog do rewolucji; następnie rewolucja osiąga swój punkt szczytowy związany ze spektakularną erupcją nowych idei; aż ostatecznie następuje epilog, który jest pewnym podsumowaniem rewolucyjnych tendencji. Schemat ten można zastosować do opisu rewolucji instrumentalnej w naukach laboratoryjnych. Pompa próżniowa Boyle’a jest symboliczną reprezentacją wstępu do rewolucji, a wodnolodowy kalorymetr i gazometr zbudowane przez Lavoisiera (pierwsze z wymienionych urządzeń oczywiście we współpracy z Laplacem) oraz eksperymenty wykonane za ich pomocą – stanowią kulminacyjne wydarzenie tej rewolucji. Problematyka badawcza podjęta przez Lavoisiera w istotny sposób była związana z jego krytyką koncepcji flogistonu Stahla. W jednym ze swoich esejów zanotował – „Chemicy uczynili z flogistonu zasadę niejasną. Ponieważ nie jest dokładnie określona, dopasowuje się do każdego wyjaśnienia (...) raz zasada ta waży, kiedy indziej nie ma ciężaru; raz jest swobodnym ogniem, kiedy indziej jest ogniem związanym z pierwiastkami ziemnymi; raz przenika ona przez pory naczyń, kiedy indziej naczynia są dla niej nieprzenikliwe; raz wyjaśnia się nią zasadowość, kiedy indziej brak zasadowości”⁵. Nieodzownymi narzędziami wykorzystanymi przez Lavoisiera do sfalsyfikowania teorii Stahla były wyrafinowane urządzenia laboratoryjne. Polemika Lavoisiera z założeniami flogistonowej teorii spalania zaowocowała rozwiązaniem szeregu problemów badawczych. Jego badania wykazały, iż teoria flogistonowa nie jest oparta na ustaleniach o charakterze ilościowym. Zaproponował alternatywną teorię spalania, wykazując znaczenie tlenu dla tego procesu. W tym celu skonstruował nowatorskie instrumenty badawcze oraz opracował nową klasyfikację i terminologię dla opisu substancji chemicznych. Stworzył również oryginalną metodę badawczą – grawimetrię – pozwalającą na precyzyjne ilościowe określenie substratów i produktów reakcji chemicznych, dzięki czemu mógł kontrolować ich przebieg [Levere, 2001, s. 63]. W ten sposób udało mu się „przerzucić pomost” między badaniami o charakterze jakościowym a ilościowym, wykazując jednocześnie, iż ustalenie stosunków ilościowych umożliwia uchwycenie mechanizmu reakcji chemicznej. Zadanie to realizował poprzez wprowadzenie ścisłych standardów prowadzenia prac laboratoryjnych. Laboratorium Lavoisiera było swoistym połączeniem tradycyjnych metod i narzędzi badawczych z nowymi pomysłowymi instrumentami lub odpowiednio zmodyfikowanymi starymi technikami. Jego prace laboratoryjne wymagały różnorodnych instrumentów, używanych i wy-

⁵ Słowa Lavoisiera podają za W.H. Brock, *Historia chemii*, Warszawa, 1999, s. 82.

konanych w szczególnie precyzyjny sposób. Wszystko po to, aby mógł on osiągnąć założony przez siebie ideał precyzyjnego i ilościowego charakteru badań laboratoryjnych [Holmes, 2000, s. 146]. W ten sposób zostały zrealizowane w praktyce badawczej chemii standardy naukowości wyznaczone przez luminarzy nowożytnego paradygmatu poznania naukowego. Wiedza chemiczna stała się w pełni intersubiektywnie kontrolowalna, sprawdzalna i komunikowalna. Spełnienie warunku kontrowalności było możliwe dzięki zastosowaniu przez Lavoisiera urządzeń, które dawały możliwość tworzenia izolowanych układów doświadczalno-eksperymentalnych. Zastosowanie kalorymetru, gazometru i wagi precyzyjnej w przekonaniu Lavoisiera było warunkiem koniecznym dla możliwości uprawiania „nowej chemii”. Używanie ich z jednej strony determinowało określony kontekst teoretyczny eksperymentu, a z drugiej strony dawało możliwość przeprowadzania bardzo precyzyjnych pomiarów [Levere, 2005, s. 228]. W przypadku zasady sprawdzalności również centralną rolę odegrały stworzone przez Lavoisiera instrumenty. W literaturze przedmiotu wskazuje się, iż kalorymetr i gazometr były urządzeniami bardzo drogimi. Wygórowany koszt budowy urządzeń wynikał z wysokich norm precyzji ich wykonania. Jednakże tak maksymalistyczne standardy były niezbędne, aby zagwarantować intersubiektywną powtarzalność i odtwarzalność warunków oraz rezultatów przeprowadzanych przez Lavoisiera doświadczeń. Paradoksalnie kosztowność ich stanowiła znaczące utrudnienie dla możliwości sprawdzenia wyników jego eksperymentów przez ówczesnych badaczy, gdyż nikt nie dysponował porównywalnym kapitałem, który on zainwestował w wyposażenie swojego laboratorium. Dlatego też każdy, kto chciał sprawdzić wartość doniesień Lavoisiera, musiał uprościć zaproponowane przez niego procedury badawcze i dostosować je do swoich możliwości [Holmes, 2000, s. 137]. Organizowane przez niego pokazy eksperymentów miały zniwelować problem ograniczonej sprawdzalności wynikający z przeszkód natury finansowej. W ten sposób uczestniczący w jednym z takich pokazów Joseph Black zweryfikował swój sceptyczny stosunek do doniesień Lavoisiera. Jednakże nigdy nie udało mu się osiągnąć rezultatów zbliżonych do pierwotnych eksperymentów Lavoisiera. Przesądzał o tym fakt, iż w swoim laboratorium Black używał o wiele mniej precyzyjnych instrumentów, ale przede wszystkim to, iż nie operował aparatem pojęciowym i teoretycznym założonym dla układów doświadczalno-eksperymentalnych Lavoisiera [Levere, 2005, s. 230]. Także za sprawą dokonań Lavoisiera udało się umocnić trzeci filar nowożytnego przyrodoznawstwa, czyli zasadę intersubiektywnej komunikowalności. Zarówno Boyle w krytyce tradycji alchemicznej, jak i Lavoisier w swoim wystąpieniu przeciwko teorii flogistonowej wskazywali na fakt, iż zwolennicy tych koncepcji posługują się w opisie przebiegu prac językiem mętym, niejednoznacznym i uniemożliwiającym intersubiektywne sprawdzenie tych teorii. Rewolucja w chemii mogła zostać zapoczątkowana przez Boyle’a i kontynuowana była przez Lavoisiera dzięki temu, iż wykazali oni, że stare

teorii nie znajdują potwierdzenia w faktach eksperymentalnych i zbudowali innowacyjne instrumenty. Jednakże w przypadku tego drugiego rewolucja osiągnęła swój punkt kulminacyjny za sprawą skonstruowania nowego języka chemicznego, który był doskonałym narzędziem komunikowania i argumentowania na rzecz nowych idei [Levere, 2001, s. 66].

Wymienione osiągnięcia badawcze Lavoisiera są impulsami dla doskonalenia się nauk laboratoryjnych w trzech wymienionych przez Hackinga grupach komponentów. W warstwie składników intelektualnych osiągnięcia Lavoisiera są szczególnie istotne dla ukształtowania się współczesnej postaci nauk laboratoryjnych. Moc przewidzyczna tlenowej teorii spalania okazała się tak duża, iż „ostatni akord” w dziejach alchemii, jakim była teoria flogistonu, przebrzmiał ostatecznie. Ponadto wypracowana przez niego nomenklatura chemiczna okazała się być nie tylko niezwykle użyteczna do przeprowadzania klasyfikacji związków chemicznych, ale przede wszystkim doskonałym narzędziem heurystycznym. Można postawić tezę, iż właśnie za sprawą tych dokonań Lavoisiera jednoznacznie w naukach laboratoryjnych została wyeksplikowana relacja między wiedzą typu „wiedza, że” a typu „wiedza, jak”. Wskazanie komplementarności tych typów wiedzy na gruncie alchemii było zadaniem niemożliwym do wykonania ze względu na to, iż w praktyce alchemicznej zachodziła dysharmonia między typami tej wiedzy [Zeidler, 2011, s. 50]. Boyle miał świadomość tego, iż wiedza, która leży u podstawy praktyki laboratoryjnej, jest swoistą wypadkową dwóch wskazanych typów wiedzy. Jednak nie dysponował wystarczająco rozwiniętym aparatem pojęciowym, aby relacje między „wiedzą, że” a „wiedzą, jak” w zadowalający sposób zaakcentować. W obrębie elementów materialnego wyposażenia laboratorium wkład Lavoisiera w proces doskonalenia się instrumentarium badawczego nauk laboratoryjnych jest niezwykle istotny. Zbudowana przez Boyle’a pompa wydawała się niedoścignionym przykładem zaawansowania technologicznego. Jednakże standardy wykonania poszczególnych urządzeń, szkła laboratoryjnego i czystości stosowanych w analizach substancji – zostały nieporównywalnie zastrzone przez Lavoisiera. Przepaść między jakością stosowanych przez niego instrumentów a używanymi w warsztatach alchemików jest ogromna i zdecydowała w dużej mierze o tym, iż praktykę tę uznano za psuedonaukę. Lavoisier wzniósł prace laboratoryjne na kolejny poziom doskonałości. Pokonał wszystkie aporie laboratoryjne, z którymi nie poradził sobie Boyle. Pozostał przy tym wierny standardom precyzji eksperymentalnej, a także powtarzalności i odtwarzalności warunków oraz rezultatów prac badawczych – określonym przez Boyle’a dla laboratoryjnej praktyki badawczej. Wypracowane przez Lavoisiera wyniki spowodowały, iż nauki laboratoryjne, jako dyscyplina przyrodznawstwa, osiągnęły „dojrzałość” metodologiczną dzięki wykrystalizowaniu się zarówno specyficznej metody badawczej, jak i przedmiotu dociekań naukowych. Lavoisier sprawił, iż stały się one naukami skoncentrowanymi na analizie aspektu

ilościowego badanych zjawisk i w ten sposób stały się porównywalne z fizyką i astronomią newtonowską [Levere, 2001, s. 79]. Osiągnięty został kolejny etap doskonalenia się nauk laboratoryjnych.

Nowe nauki laboratoryjne – od rewolucji naukowej do stylu badań instrumentalnych

Dokonania badawcze Boyle’a i Lavoisiera były dwoma momentami w dziejach nauk laboratoryjnych, które przesądziły o tym, iż możemy w przypadku tych dyscyplin mówić o dokonaniu się „udanej” rewolucji naukowej. Po tych wydarzeniach nastąpił okres, który – zgodnie z terminologią zaproponowaną przez Kuhna – należy nazwać mianem „nauki normalnej”. „Termin «nauka normalna» oznacza w niniejszych rozważaniach badania wyrastające z jednej lub wielu takich osiągnięć naukowych przeszłości, które dana społeczność uczonych aktualnie akceptuje i traktuje jako fundament swojej dalszej praktyki” [Kuhn, 2001, s. 33]. Przyszedł okres upowszechniania się idei rewolucyjnych, który wyraził się w procesie kumulatywnego gromadzenia przez badaczy wiedzy o charakterze analitycznym i doskonalenia metod jej pozyskiwania. Odwołując się jeszcze raz do terminologii Kuhna – we wszystkich laboratoriach pracowano w ramach jednego prądu: „Ma on wskazywać na to, że pewne akceptowane wzory faktycznej praktyki naukowej – wzory obejmujące równocześnie prawa, teorie, zastosowania i wyposażenie techniczne – tworzą model, z którego wyłania się jakaś szczególna, zwarta tradycja badań naukowych” [Kuhn, 2001, s. 34]. Z całą pewnością na długie lata istotę praktyki badawczej nauk laboratoryjnych określiły prace o charakterze analitycznym. Jak wykazały badania naukometryczne, dopiero w drugiej połowie XIX wieku można zaobserwować tendencję wzrostu znaczenia badań syntetycznych, których prymat określa dzisiaj główne zadanie tych nauk, czyli wytwarzanie nowych, niejednokrotnie niewystępujących w przyrodzie substancji chemicznych [Sobczyńska, 1999, s. 104]. Kolejne pokolenia badaczy „zamknęły się” w laboratoriach, gdzie skrupulatnie stosując analizę wagową, analizę elektrogravimetryczną i metody analizy gazowej, każdego dnia zdobywały kolejne informacje o ilościowym składzie substancji chemicznych i ilościowych stosunkach między składnikami analizowanych substancji. Również w tym okresie dziejów nauk laboratoryjnych centralną rolę w procesie ich „doskonalenia się” odegrało pojawienie się nowych instrumentów, a przede wszystkim spektrometrów masowych. Efektem tego przełomu jest to, iż prace analityczne we współczesnym laboratorium nie są wykonywane w klasyczny sposób „rękoma człowieka” rozdzielającego kolejne frakcje badanego związku chemicznego, ale są niezwykle szybko i precyzyjnie wykonywane przez aparaturę. Obok metod spektrometrycznych, wykorzystujących oddziaływania elektromagnetyczne, współcześnie stosuje się również metody radiometryczne, elektrochemiczne i chromatograficzne. Zastosowanie tych urządzeń pomiarowych diametralnie zmieniło

sposób pracy w laboratoriach. „Do oznaczeń potrzebne są niezmiernie małe ilości substancji (graniczne minimum niektórych metod to 10^{12} - 10^{14} g), a wyniki otrzymuje się prawie natychmiast” [Sobczyńska, 1998, s. 190]. Również zastosowanie technologii informatycznych w praktyce badawczej nauk laboratoryjnych wpłynęło na narodziny stylu instrumentalnego. Komputery pozwalają w niespotykany dotąd sposób przetwarzać dane empiryczne rejestrowane przez różnego typu czujniki, detektory i urządzenia pomiarowe oraz automatycznie dokonywać ich wstępnego szacowania, analizowania, wizualizacji i archiwizacji. Ponadto włączenie do prac laboratoryjnych układów instrumentalno-komputerowych pozwala między innymi na: ochronę badacza przed szkodliwym oddziaływaniem badanego obiektu, zwiększenie dokładności i ilości pomiarów, wykonanie „w zamian za eksperymentatora” żmudnych analiz składu badanej substancji, a także na przetwarzanie bardzo dużych zbiorów danych oraz na kierowanie bardzo złożonymi układami doświadczalnymi [Leciejewski, 2003, s. 160]. Wsparcie technik instrumentalnych technologiami informatycznymi spowodowało, iż między praktyką badawczą Boyle’a i Lavoisiera a współczesnymi pracami laboratoryjnymi dostrzegamy ogromny przeskok pod względem wysublimowania badań o charakterze jakościowym i ilościowym. Jak stwierdziłem wcześniej, po rewolucji Lavoisiera istotę praktyki badawczej nauk laboratoryjnych określiły prace o charakterze analitycznym. Ukształtowany w tym okresie „styl prac laboratoryjnych”, w połączeniu z zastosowaniem ultranowoczesnych metod fizycznych i technologii informatycznych, dał początek „wielkiej rewolucji aparaturowej” [Sobczyńska, 1998, s. 198]. W ten sposób zainicjowana została kolejna faza „doskonalenia się” nauk laboratoryjnych, czyli przejście od „stylu laboratoryjnego” do nowoczesnego „stylu badań instrumentalnych wspomaganych komputerowo”.

Podsumowanie

Przedstawione w artykule metodologiczno-historyczne studium ewolucji nauk laboratoryjnych jest egzemplifikacją tezy o „doskonaleniu się” tej formy praktyki naukowej. Pogłębione badania z całą pewnością dostarczyłyby kolejnego materiału, który pozwoliłby na wskazanie kolejnych znaczących momentów rozwoju nauk laboratoryjnych⁶. Jednak już przeprowadzone analizy czterech wyodrębnionych okresów w dziejach prac laboratoryjnych w wystarczającym stopniu pozwalają dostrzec naturę mechanizmu „doskonalenia się” instrumentarium badawczego nauk laboratoryjnych. Unaocznia się obraz praktyki badawczej nastawionej na interweniowanie i manipulowanie, określony jako „styl laboratoryjny” [Hacking, 1992 b, s. 7]. Kolejne problemy badawcze, jakie podejmowane były przez następujące po sobie pokolenia przyrodników, określane były poprzez

⁶ Za punkty zwrotne w dziejach nauk laboratoryjnych można między innymi uznać: laboratoryjne badania nad fizjologią roślin Juliusa Sachsa lub ukonstytuowanie pojęcia wiązania chemicznego przez Linusa Paulinga.

odniesienie się do wcześniej analizowanych zagadnień. Badacze podejmowali stare kwestie, przekształcając je w ramach nowego stylu myślowego, a także rekonfigurowali przedmiot badania za pomocą nowatorskich instrumentów, np. pompa Boyle'a dawała możliwość prowadzenia „eksperymentów na próżni”, jako obiekcie doświadczalnym, w przeciwieństwie do średniowiecznych spekulacyjnych rozważań. Trzeba podkreślić, iż szybkie rekonfigurowanie przedmiotu badań jest cechą charakterystyczną nauk laboratoryjnych. W zależności od sytuacji doświadczalno-eksperymentalnej naukowcy szybko modyfikują strategie i cele prowadzonych prac [Latour, Woolgar, 1986, s. 123]. We wszystkich fazach rozwoju nauk laboratoryjnych było modyfikowane instrumentarium badawcze dyscypliny ze względu na pojawienie się specyficznych dla niej problemów badawczych. Z tej perspektywy rozwój nauk laboratoryjnych ma zasadniczo charakter kumulatywny i ciągły, w którym mają miejsce rewolucyjne punkt zwrotne. Jednakże te przełomowe wydarzenia w dziejach nauk laboratoryjnych nie wywołują destrukcji wewnętrznej „samouprawomocniającej się” struktury tej praktyki badawczej. Rewolucyjnemu przekształceniu ulegają stawiane przez badaczy problemy badawcze, a środki ich rozwiązywania podlegają procesowi udoskonalenia w płaszczyźnie materialnej, intelektualnej, jak i otrzymywanych rezultatów. Należy wyraźnie podkreślić, iż o „doskonaleniu się” nauk laboratoryjnych każdorazowo decydował impuls – powodujący rewolucyjne przekształcenia zagadnień podnoszonych przez badaczy w laboratoriach – który nie był determinowany wpływem czynników pozapoznawczych i wypływał zawsze z wnętrza tej praktyki badawczej, a nie pochodził z innych dyscyplin przyrodznawstwa. To właśnie specyficzne problemy badawcze, formułowane w ramach realnej praktyki laboratoryjnej, były głównym czynnikiem motywującym działania naukowców, a zarazem determinantą procesu ewolucyjnego doskonalenia się instrumentarium badawczego tych dyscyplin przyrodznawstwa. W swojej istocie nauki laboratoryjne są praktyką badawczą, której celem jest analiza i synteza nowych substancji chemicznych [Zeidler, 2011, s. 30]. Dlatego też nauki laboratoryjne są doskonałym przykładem specyficznie ujmowanych nauk stosowanych, w których realizacja zadań poznawczych jest zarazem „odповідzią” na rosnące zapotrzebowanie społeczne na coraz doskonalsze substancje chemiczne. Unaocznia się obraz praktyki badawczej, w ramach której dochodzi do swoistego sposobu ujmowania celów poznania naukowego. W tym przypadku zachodzi komplementarność oddziaływania celów poznawczych i pozapoznawczych. Rozwiązywanie danego problemu badawczego na gruncie nauk laboratoryjnych dawało rezultat, którym było zarówno „pozytywne przesunięcie problemowe”, jak i udoskonalenie instrumentarium badawczego. Każdorazowo prowadziło to do rozstrzygnięcia „łamigłówek”, której wyjaśnienie było istotne ze względu na zewnętrzne cele poznania naukowego.

Bibliografia

- Boyle R. (1991), *About the Excellency and Grounds of the Mechanical Hypothesis* [w:] Selected philosophical papers of Robert Boyle, (red. i wstęp) M.A. Stewart, 1991, Hackett Publishing Company Indianapolis/Cambridge, s. 138-154;
(2007), *The Sceptical Chymist*, The Project Gutenberg eBook of The Sceptical Chymist, by Robert Boyle, www.gutenberg.org
- Burns D.T. (1986), *Wkład Roberta Boyle'a (1627-1690) do teorii i praktyki analizy chemicznej*, przeł. St. Zamecki, Kwartalnik historii nauki i techniki, 1, Warszawa, s. 95-124.
- Brock W.H. (1999), *Historia chemii*, przeł. J. Kurlowicz, Prószyński i S-ka, Warszawa.
- Eaton W.R. (2005), *Boyle on fire. The mechanical revolution in scientific explanation*, Continuum, Londyn, Nowy York.
- Hacking I. (1992), *The Self-Vindication of the Laboratory Sciences*, [w:] *Science as Practice and Culture*, (red.) A. Pickering, Londyn, s. 26-94;
(1992b), *'Style' for Historians and Philosophers*, Studies in History and Philosophy of Science, vol. 23, nr 1, s. 1-20.
- Holmes F.L. (2000), *The Evolution of Lavoisier's Chemical Apparatus*, [w:] *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, (red.) F.L. Holmes, T.H. Levere, MIT Press, s. 137-152.
- Kuhn T.S. (2001), *Struktura rewolucji naukowych*, przeł. H. Ostromecka, posłowie przeł. J. Nowotniak, Fundacja Aletheia, Warszawa.
- Latour B., Woolgar S. (1986), *Laboratory Life*, Princeton.
- Leciejewski S. (2003), *Status eksperymentatora w naukach empirycznych a współczesne techniki informatyczne*, [w:] *Homo experimentator*, (red.) D. Sobczyńska, P. Zeidler, Wydawnictwo naukowe IF UAM, s. 159-188.
- Levere T.H. (2001), *Transforming Matter. A History of Chemistry from Alchemy to the Buckyball*, The Johnes Hopkins University Press, Baltimor, Londyn;
(2005), *The Role of Instruments in the Dissemination of the Chemical Revolution*, ÉNDOXE: Series Filosoficas, nr 5, Madryt, s. 227-242.
- Moran B.T. (2005), *Distilling knowledge: alchemy, chemistry, and the scientific Revolution*, Harvard University Press.
- Newman W.R. (2000), *Alchemy, Assaying, and Experiment*, [w:] *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, (red.) F.L. Holmes, T.H. Levere, MIT Press, s. 35-54.
- Plesch Peater H. (1999), *On the Distinctness of Chemistry*, Foundations of Chemistry, no. 1, s. 6-15.
- Principe L.M. (2000), *Apparatus and Reproducibility in Alchemy*, [w:] *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, (red.) F.L. Holmes, T.H. Levere, MIT Press, s. 55-74.
- Rothbart D., Slayden S.W. (1999), *Epistemologia spektrometru*, [w:] *Chemia: laboratorium myśli i działań*, (red.) D. Sobczyńska, P. Zeidler, Wyd. Naukowe IF UAM, Poznań, s. 111-126.
- Sobczyńska Danuta (1984), *Osobliwości chemii*, Wyd. Naukowe UAM, Poznań;
(1993), *Sztuka badań eksperymentalnych*, Wyd. Naukowe UAM, Poznań;
(1998), *Instrumentarium badawcze chemii a globalne przemiany poznawcze w nauce*, [w:] *Z epistemologii wiedzy naukowej*, (red.) J. Such, M. Szczesniak, Wyd. Naukowe IF UAM, Poznań, s. 185-203;
(1999), *Praktyka eksperymentalna chemii – tradycja i nowoczesność, swoistość i uniwersalność, teoria i aparatura*, [w:] *Chemia: laboratorium myśli i działań*, (red.) D. Sobczyńska,

- P. Zeidler, Wyd. Naukowe IF UAM, Poznań, s. 89-110.
Shapin S. (2000), *Rewolucja naukowa*, Prószyński i S-ka, Warszawa.
Zeidler P. (2011) *Chemia w świetle filozofii. Studia z filozofii, metodologii i semiotyki chemii*,
Wyd. Naukowe IF UAM, Poznań.

Process of improvement of the research instrumentation in the laboratory sciences

In the article I invoke characterizations of the structure of laboratory sciences proposed by Ian Hacking. I will expand his argument about the “self-vindication” of the laboratory sciences and show that the present aspect of this practice is a result of the improvement process in the research instrumentation of these sciences. In the history of the laboratory sciences one can notice the process of evolutionary increasing of standards in laboratory works and of creating continuously improving research instrumentation. In support of my argument I analyze the four stages of the development of the laboratory sciences research instruments: alchemists’ works, Boyle’s laboratory works, Lavoisier’s laboratory practice and the laboratory sciences after the instrumentation revolution.

Key words: philosophy of natural science, laboratory science, laboratory style

