

Techniki chromatograficzne i im pokrewne w Polsce. Historia i stan aktualny Zespołu Analizy Chromatograficznej i Technik Pokrewnych Komitetu Chemii Analitycznej PAN

Bogusław Buszewski

Kujawsko-Pomorskie Centrum Naukowo-Technologiczne im. prof. Jana Czochralskiego,
ul. Krasińskiego 4/4a. 87 100 Toruń

1. Wstęp

Genezę tworzenia „polskiej szkoły chromatograficznej” należy rozpocząć od rysu historycznego i charakterystyki oraz osiągnięć poszczególnych ośrodków akademickich zlokalizowanych w: Lublinie, Warszawie, Gdańsku, Poznaniu, Łodzi, Krakowie czy na Śląsku, Podlasiu jak też w Toruniu.

Znaczący wpływ na nią miało zorganizowane po II wojnie światowej w 1951 roku I Zjazdu Polskiej Nauki, którego owocem było Kolokwium Chromatograficzne (1954, Kraków). Konsekwencją tego spotkania było wydanie, pod redakcją profesorów: J. Opieńskiej-Blauth, A. Waksmundzkiego i M. Kańskiego, przez PWN fundamentalnej książki *Chromatografia* [7]. W 1955 roku, z inicjatywy prof. W. Kemuli, w ramach Komitetu Nauk Chemicznych PAN, utworzono Podkomisję Chemii Analitycznej (obecnie Komitet Chemii Analitycznej PAN), gdzie ulokowano Sekcję Chromatograficzną, obecnie Zespół Chromatografii i Technik Pokrewnych Komitetu [8]. No tak, ale jakie były początki?

2. Narodziny chromatografii

Wszystko, w nowoczesnych technikach separacyjnych, zaczęło się na ziemiach polskich. W byłych Prusach Wschodnich, w Wąbrzeźnie (z niem. Briesen), w dniu 25 czerwca 1864 roku urodził się Walther Nernst. Ukończył liceum w Grudziądzu. Po studiach i obronie doktoratu (Uniwersytet w Würzburgu), został profesorem na niemieckich uniwersytetach w Lipsku, Heidelbergu, Berlinie i w Getyndze. W 1920 roku otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii za trzecią zasadę termodynamiki. Ponadto wprowadził do światowej literatury naukowej: prawo podziału, podstawy procesu ekstrakcji w układzie ciecz-ciecz oraz równanie potencjału elektrochemicznego ogniw galwanicznych. [1] (Rys. 1).



W. H. Nernst



M.S. Tswett (Cwett)



AJP Martin



R. Synge

Rys. 1. Ojcowie światowej chromatografii

Inną ważną osobą, która wprowadziła termin i podstawy procesu chromatografii do świata nauki, był Michaił Siemionowicz Cwett (Tswett), profesor botaniki na Uniwersytecie Cesarskim w Warszawie i Politechnice Warszawskiej (Polska nie znajdowała się na mapie świata, a carat rosyjski okupował tę część kraju, w tym Warszawę) [1] (Rys.1). 21 marca 1903 roku, podczas

zjazdu Towarzystwa Naukowego Warszawskiego, po raz pierwszy przedstawił on wyniki systematycznych badań nad kolumnową chromatografią cieczową w rozdzielaniu barwników (chlorofili, chloroplastów i karotenoidów jako analitów). Użył zmielonej kredy (węglanu wapnia) jako wypełnienia kolumny (złoża), a fazę ruchomą stanowiły rozpuszczalniki, tj. benzen, eter etylowy lub alkohol etylowy (faza ruchoma). Mechanizmy odpowiedzialne za proces separacji, według M.S. Tswetta, to adsorpcja i podział. Dopiero w latach 30. XX wieku szczegółowe badanie przeprowadzone przez Kühna i in. [2] oraz prace Martina i in. [3] doprowadziły do pełnego opisu procesu, bliższego współczesnej interpretacji. Zaowocowało to przyznaniem A. Marinie i R. Synge'owi Nagrody Nobla w 1952 roku [4].

W literaturze polskiej brak informacji na temat rozwoju tej techniki w okresie międzywojennym. W tym czasie w czołowych polskich ośrodkach akademickich (Lwowie, Wilnie, Krakowie, Poznaniu i Warszawie) rozwijano analityczne techniki fizykochemicznego rozdzielania (ekstrakcja, flotacja czy chromatografia). Badania te prowadzili głównie byli uczniowie (W. Świętosławski, B. Szyszkowski, S. Glixelli, St. Tołoczek (doktorant prof. W. Nernsta), W. Kemula czy B. Kamieński) takich mistrzów, jak: prof. W. Nernst, prof. W. Oswald, prof. S. Arrhenius, prof. F. Donnan czy prof. J. Hayrovski, którzy pod ich kierunkiem uzyskali stopień doktora lub odbyli staże podoktorskie. Niestety, brakuje szczegółowych informacji na ten temat. Podobnie jak w wielu krajach europejskich, po 1945 roku życie naukowe w Polsce odbudowywano od podstaw. W związku z ruchem repatriacyjnym, wynikającym z „nowego porządku terytorialnego Europy”, wielu polskich naukowców z Wilna, Lwowa, Kijowa i Europy Zachodniej objęło stanowiska profesorów/kierowników katedr organizując pracę naukową i dydaktyczną. Dla przykładu ze Lwowa do Warszawy przyjeżdżał prof. W. Kemula, a prof. A. Basiński z Wilna do Torunia, zaś z Krakowa do Lublina przybył prof. A. Waksmundzki [5,6]. W rezultacie nastąpiła intensyfikacja badań i rozwoju, zarówno teoretycznych, jak i praktycznych, w dziedzinie technik rozdzielczych, w tym chromatograficznych i pokrewnych, zarówno w zakresie kontroli jakości i czystości różnych substancji, jak i sterowania procesami w wielu wydziałach i gałęziach przemysłu i gospodarki. Powstały ośrodki zajmujące się głównie budowaniem nowoczesnych grup badawczych w zakresie fizykochemicznych zjawisk powierzchniowych, a zwłaszcza procesów rozdzielania, skupionych wokół prof. Andrzeja Waksmundzkiego z Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie [5,6] oraz prof. Wiktora Kemuli z Uniwersytetu Warszawskiego [7]. Wprawdzie już w roku 1949 ukazała się pierwsza w Polsce publikacja opisująca podstawy chromatografii, której jedynym autorem był prof. A. Waksmundzki, (*Adsorpcja Chromatograficzna*, Wiadomości Chemiczne, z. 6-8, str. 169). W roku 1951 ukazała się pierwsza praca referująca wyniki pionierskich eksperymentów chromatograficznych, jakie zostały wykonane w owym czasie przez Profesora Waksmundzkiego i Jego ucznia, ówczesnego magistra chemii, profesora Jarosława Ościka (*Adsorpcyjna chromatografia niektórych metylo pochodnych pirydyny z roztworów wodnych na węglu aktywnym*, Annales UMCS, Sectio AA, vol. VI, nr 9, str. 87). Po nich przychodzą kolejne prace w tym słynne, monumentalne i pionierskie opracowanie *Chromatografia* pod redakcją: J. Opieńskiej-Blauth, A. Waksmundzkiego i M. Kańskiego [8].

3. Misja i zadania Zespołu Analizy Chromatograficznej i Technik Pokrewnych

Zespół Analizy Chromatograficznej i Technik Pokrewnych jest jednym z 10 zespołów Komitetu Chemii Analitycznej PAN. Jego misją i celem jest promocja i popularyzacja osiągnięć naukowych, w tym wkładu i osiągnięć Polaków do światowej literatury, w zakresie

fizykochemicznych metod o rozdzielaniu złożonych mieszanin. Ponadto o jakościowym i ilościowym oznaczaniu substancji o zróżnicowanej masie cząsteczkowej jak też różnym charakterze i budowie chemicznej. Wszystkie te działania odnoszą się również do selektywnych i specyficznych metod przygotowania próbek. Tak, by możliwe było postępowanie analityczne w modusie nowoczesnej analizy śladowej. Gwarancją takiego toku analitycznego jest stosowanie certyfikowanych materiałów odniesienia, a w konsekwencji zgodnie z kanonami metrologii, kalibracja i walidacja zarówno metodyk jak i postępowań analitycznych. Do tego celu rekomenduje się szerokiej gamy narzędzia chemometryczne oraz sztuczna inteligencja (oprogramowanie). Ważnym zadaniem jest też dbałość o młode pokolenie, edukację i kształcenie (studia podyplomowe, kursy) oraz stosowanie poprawnego, zgodnie z rekomendacją IUPAC i Komitetu Chemii Analitycznej PAN, języka i nomenklatury. Organizacja krajowych i międzynarodowych konferencji i sympozjów naukowych, oraz współpraca z krajowymi i międzynarodowymi instytucjami, organizacjami i towarzystwami naukowymi i przemysłowymi [9].

Przewodniczącymi Zespołu Analizy Chromatograficznej i Technik Pokrewnych KChA PAN na przestrzeni lat byli: prof. dr hab. Andrzej Waksmundzki (UMCS Lublin), prof. dr hab. Edward Soczewiński (Akademia Medyczna/ Lubelski Uniwersytet Medyczny w Lublinie), prof. dr hab. inż. Zygfryd Witkiewicz (WAT Warszawa) i prof. dr hab. Bogusław Buszewski, czł. rzecz. PAN (UMK Toruń/KPCNT im. prof. Jana Czochralskiego w Toruniu).



Prof. A. Waksmundzki
(1955 – 1980)



Prof. E. Soczewiński
(1980 – 1995)



Prof. Z. Witkiewicz
(1995 – 2002)



Prof. B. Buszewski
(2002 -)

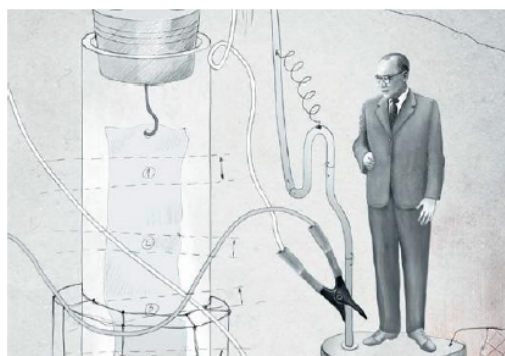
Rys 2. Przewodniczący Zespołu Analizy Chromatograficznej i Technik Pokrewnych KChA PAN

4. Opis ośrodków naukowych w Polsce

4.1. Warszawa i „Szkoła warszawska”

Profesor W. Kemula pomimo, że był elektrochemikiem to jego zainteresowania technikami separacyjnymi wynikały w sposób naturalny z kompleksowego podejścia do analityki. Wraz z współpracownikami w roku 1952 do światowej literatury z powodzeniem wprowadzili połączenie, intensywnie rozwijającej się polarografii, z chromatografią jako chromatopolarografią [7]. Konsekwencją tej działalności było opracowanie pierwszych prac nad opracowaniem specyficznych i selektywnych układów detekcyjnych (detektory elektrochemiczne), czy rozdzielania chiralnych analitów za pomocą cyklodekstryn i badaniem układów cyklodekstrynowych [10]. Inni, jak prof. M. Trojanowicz (Uniwersytet Warszawski i IChTij Warszawa) i jego zespół (prof. K. Pyrzyńska, dr E. Dąbek-Złotorzyska (obecnie Kanada), dr hab. E. Poboży i prof. M. Biesaga) wnieśli znaczący wkład w rozwój metod separacyjnych (analiza wstrzykowo-przepływowa, techniki elektromigracyjne, chromatografia

cieczowa kolumnowa i metody przygotowania próbek) [11]. Z powodzeniem realizowali badania teoretyczne i aplikacyjne, których wyniki opisane zostały w licznych monografiach, oryginalnych pracach naukowych i badawczych oraz przeglądach, w tym szeroko zakrojone naukowe oznaczanie szeregu związków organicznych i nieorganicznych.



Rys. 3. Prof. W. Kemula (1902–1985) wraz z uczniami z Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego jako „warszawskiej szkoły analitycznej”.

Analytyka związków nieorganicznych (anionów, kationów) w badaniach teoretycznych i aplikacyjnych chromatografii jonowej była z powodzeniem rozwijana przez prof. R. Dybczyńskiego i jego uczniów (IChTiJ Warszawa). Byli oni również pierwszymi w Polsce, autorami którzy stworzyli nową generację certyfikowanych materiałów odniesienia do analizy chromatograficznej (IC) i spektralnej. Jako spadkobiercy prof. J. Minczewskiego i Z. Marczenki wdrożyli oni koncepcję analizy śladowej zwłaszcza kationów. Połączone techniki separacyjne (LC-ICP/MS, CZE-ICP/MS) oraz miniaturyzacja tych metod i ich robotyzacja (laboratorium na chipie) były i są domeną zespołu naukowców z Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem profesorów M. Jarosza i Z. Brzózki. Oni również, wraz z prof. A. Hulanickim (analiza specjacyjna) i prof. Z. Witkiewiczem, utworzyli komitet redakcyjny międzynarodowego czasopisma naukowego „*Chemia Analityczna*”, organu Komitetu Chemii Analitycznej PAN. Rolę czasopisma popularno-naukowego, integrującego środowisko chemików-analityków w tym chromatografistów, przez 25 lat spełniała *Analytyka* pod kierownictwem i redakcją dr P. Bieńkowskiego. Prof. Z. Witkiewicz (Wojskowa Akademia Techniczna), autor licznych monografii i opracowań z zakresu chromatografii i technik pokrewnych, z powodzeniem opisał podstawy teoretyczne przemian oraz właściwości fizykochemicznych i chromatograficznych ciekłokrystalicznych faz stacjonarnych, zwłaszcza dla klasycznej i kapilarnej chromatografii gazowej. Wraz z prof. J. Błądkiem (Wojskowa Akademia Techniczna) oraz naukowcami z Rosji i Węgier wdrożył do produkcji oryginalne zestawy do ciśnieniowej chromatografii cienkowarstwowej (OP TLC) (COBRABiD Warszawa). COBRABiD był placówką naukowo-badawczą, która dzięki dr W. Rytłowi i doc. Z. Stefaniakowi, z powodzeniem wdrożyła rozwój aparatury (detektory, zestawy HPLC, OP TLC) i oprzyrządowania do analizy chromatograficznej. Ośrodek ten pod redakcją prof. Z. Witkiewicza wydawał również czasopismo naukowo-techniczne „*Aparatura Naukowo-Badawcza*” [11]. Należy podkreślić, że prof. Z. Witkiewicz wprowadził do światowej literatury naukowej unikatową pięcioletnią nomenklaturę chromatograficzną wg zaleceń IUPAC [12].

4.2. Lubelska szkoła chromatografii

Ośrodkiem, uznanym ze względu na swoją pozycję i osiągnięcia w Polsce i na świecie, w którym rozwijano fizykochemiczne metody rozdzielania (chromatografia, flotacja, ekstrakcja, elutracja itp.), jest Lublin, utworzony w tym mieście przez prof. Andrzeja Waksmundzkiego na UMCS i Akademii Medycznej (obecnie Uniwersytet Medyczny w Lublinie) w Lublinie Szkołę Chromatografii [5,6,13,14].



Rys. 4. Lubelska Szkoła Chromatograficzna: Prof. A. Waksmundzki (pierwszy rząd pozycja centralna). Rząd górny od lewej: M. Jaroniec, J.K. Różyło, Z. Suprynowicz, Wł. Rudziński, L. Jusiak, St. Prześlakowski, J. Szczypa, R. Nasuto; rząd dolny od lewej: J. Ościk, A. Barcicka, T. Wawrzynowicz, M. Przyborowska, E. Soczewiński, J. Barcicki.

Tutaj powstały pierwsze prace teoretyczne opisujące zjawiska adsorpcji na granicy faz: ciecz–ciało stałe, ciecz–ciecz, gaz–ciecz lub gaz–ciało stałe, oraz procesy rozdzielania. Pod kierunkiem prof. A. Waksmundzkiego powstało ponad 50 rozpraw doktorskich, tyle samo habilitacji, a ponad 30 jego studentów uzyskało tytuł profesora (w tym autor niniejszego opracowania). To tutaj powstały pierwsze opracowania nowej generacji adsorbentów i wypełniaczy do chromatografii gazowej opartych na rodzimych diatomitach, węglach i adsorbentach mieszanych, a także kwarcowych kolumnach kapilarnych. Tutaj opracowano również oryginalne chemicznie związane fazy i kolumny do HPLC o wysokiej sprawności lub wypełnienia dla ekstrakcji do fazy stałej (SPE). Dodatkowo, na przełomie lat 50. i 60. XX wieku, zbudowano pierwszy w Polsce chromatograf gazowy (prof. Z. Suprynowicz) oraz aparat do technik elektromigracyjnych. W Lublinie prof. E. Soczewiński opublikował podstawy swojej teorii dotyczącej opisu mechanizmu adsorpcji chromatografii ciekowej (słynne równanie Soczewińskiego-Snydera $\log k = \log k_w \leq S_f$) [5,15,16]. Również tutaj, w oparciu o fizykochemiczne zjawiska powierzchniowe (adsorpcji), profesorowie: J. Ościk, M. Jaroniec, W. Rudziński, R. Leboda, J.K. Różyło, I. Malinowska, J. Goworek, A.L. Dawidowicz, B. Buszewski czy M. Waksmundzka-Hajnos, T.H. Dzido i T. Tuzimski jak też K. Głowniak, R. Kocjan, W. Gołkiewicz, K. Skalicka-Woźniak czy E. Fornal rozwinęli badania teoretyczne nad mechanizmem rozdzielania w chromatografii gazowej i cienkowarstwowej, kolumnowej chromatografii ciekowej i chromatografii przeciwpływowej (CCC) czy technikach elektromigracyjnych jak też sprzężeniu spektrometrii mas. To tu w Lublinie powstawały pierwsze zgłoszenia patentowe i *know-how*. Tu dokonano pierwszych wdrożeń materiałów

eksploatacyjnych i narzędzi na potrzeby chromatografii i technik pokrewnych (Fabryka Odczynników Chemicznych w Lublinie, POCh-Gliwice, Cormay-Polska, AK Nobel, Merck, J.T. Baker, Knauer, Camag i COBRABiD w Warszawie). W Lublinie powstało wiele prac monograficznych (w tym wspomniany pierwszy podręcznik), uznanych publikacji naukowych i artykułów przeglądowych. Przez wiele lat w Lublinie organizowano studia doktoranckie, kursy i szkolenia z teorii i praktyki technik chromatograficznych (zarówno na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej, Uniwersytecie Medycznym jak i Uniwersytecie Przyrodniczym). To właśnie w Lublinie odbywały się krajowe i międzynarodowe konferencje i sympozja poświęcone technikom rozdzielania. Wielu uznanych specjalistów z zakresu adsorpcji i zjawisk powierzchniowych, w tym metod rozdzielania, kształciło się w Lublinie i z powodzeniem rozwijało te umiejętności w swoich macierzystych ośrodkach akademickich, przemysłowych i badawczych w Polsce i za granicą [5,6,13-16].

4.3 Ośrodek gdański i Pomorze

Innym ważnym ośrodkiem akademickim, w którym intensywnie rozwijano techniki separacyjne, był Gdańsk. Prof. R. Staszewski, który na Politechnice Gdańskiej zbudował zespół zajmujący się opracowywaniem nowej generacji detektorów (w tym selektywnych detektorów siarki) do chromatografii gazowej (W. Janicki, B. Zygmunt, W. Wardencki, A. Przyjazny i inni). W tym samym czasie prof. J. Kowalczyk budował swój zespół naukowy (M. Kamiński, J. Klawiter, B. Makuch, B. Ślodzińska i inni). Zespół ten badał teorię i praktyczne zastosowania kolumnowej chromatografii cieczowej (analitycznej i preparatywnej) oraz konstrukcję chromatografów cieczowych. Jednocześnie prof. A. Stołyhwo wykazał dużą aktywność w rozwoju aparatury do chromatografii gazowej i cieczowej (skala preparatywna) oraz detektorów specyficznych i selektywnych do analizy olejów i tłuszczów (detektor LSD). Urządzenia te były produkowane w ELPO Wrocław oraz Fabryce Aparatury Medycznej w Bydgoszczy [17].

Ośrodek gdański zyskał uznanie w literaturze światowej dzięki badaniom prof. Romana Kaliszana, czł. rzecz. PAN i PAU, oraz jego uczniów (prof. T. Bączek, M. Markuszewski, A. Nasal, D. Siluk, M. Marszał, A. Buciuński, P. Wiczling, M. Buszewska-Forajta i inni) z Katedry i Zakładu Biofarmacji i Farmakodynamiki Wydziału Farmacji Uniwersytetu Medycznego w Gdańsku w zakresie opisu mechanizmu i przewidywania danych retencji w chromatografii [5,9]. Bazą była i jest ilościowa zależność retencji od struktury analizowanych substancji (QSRR) [18]. Kolejnym istotnym zagadnieniem były badania prowadzone nad aktywnością biologiczną analitów w obszarze tzw. *-omiki* (metabolomika, proteomika, genomika, lipidomika itp.) [18,19].

Inną ważną osobą, która miała znaczący wpływ na rozwój chemii analitycznej w Polsce, a zwłaszcza na nowe podejście do rozwoju metodologicznego w metodach separacyjnych, a właściwie w nowych metodach przygotowania próbek (dozymetria pasywna, techniki membranowe, techniki ekstrakcyjne itp.), był prof. Jacek Namieśnik, który stworzył „szkołę chemii analitycznej” [5,20]. Chociaż w jego osiągnięciach nie ma badań chromatograficznych o charakterze teoretycznym, prace nad tzw. sztucznym nosem (W. Wardencki, B. Zygmunt) [19] oraz badania metodyczne (przygotowanie próbek) dotyczące oznaczania całego zakresu związków organicznych, uwzględniające zasady tzw. „zielonej chemii analitycznej” (M. Tobiszewski, J. Płotka-Wasyłka, M. Marć, A. Gałuszka obecnie z UJK w Kielcach) wniosły znaczący wkład w rozwój i postęp w tej dziedzinie [21,22]. Osiągnięcia te gwarantują temu zespołowi trwałe miejsce w naukowych annałach.

Najnowsze prace z zakresu toksykologii czy monitoringu środowiska naturalnego (prof. L. Wolska – PG, GUMed), a także wykorzystanie technik łączonych w poszukiwaniu różnych rodzajów ksenobiotyków, stanowią nowoczesny kierunek rozwiązań metodycznych (A. Kot-Wasik, B. Zabiegała, Ż. Polkowska, M. Biziuk i inni) oraz rozwoju nowych rozwiązań w projektowaniu narzędzi do analizy śladowej (A. Wasik, P. Konieczka i inni). Z tej uczelni wywodzi się również prof. Janusz Pawliszyn (Uniwersytet Waterloo, Kanada), twórca systemów SPME i zminiaturyzowanych systemów przygotowania próbek oraz nowych rozwiązań w zakresie wykrywania organicznych indywiduów na poziomie molekularnym [23]. Uczniem prof. J. Namieśnika jest również prof. Tadeusz Górecki (Uniwersytet Waterloo, Kanada), który zajmuje się badaniami teoretycznymi i aplikacyjnymi w zakresie GC i wieloczynnikowych systemów GCxGC, LCxLC do oznaczania śladowych ilości analitów izolowanych ze złożonych matryc [24]. Grupa Politechniki Gdańskiej, oprócz prac badawczych, z powodzeniem publikuje monografie, oryginalne prace twórcze i recenzje. Systematycznie organizowała szkoły, warsztaty i konferencje poświęcone oznaczaniu różnych analitów w matrycach środowiskowych i biologicznych. Realizowane są tu również różnorodne projekty międzynarodowe, w tym programy edukacyjne.

Istotnym ogniwem uzupełniającym Gdański Ośrodek Badawczy jest zespół specjalistów metod separacyjnych Uniwersytetu Gdańskiego skupiony wokół prof. Piotra Stepnowskiego, czł. koresp. PAN (prof. J. Kumirska, dr hab. inż. A. Białk-Bielińska, dr hab. M. Caban). Ich zainteresowania badawcze koncentrują się na badaniu zanieczyszczeń i chemii morza oraz ich wpływu na ekosystem morski. Niewątpliwie badania z zakresu zastosowania cieczy jonowych stały się znaczącym osiągnięciem naukowym jako element badań podstawowych i nowej generacji modyfikatorów i rozpuszczalników na potrzeby nowoczesnej analizy i syntezy chemicznej [25].

Swój udział w charakterystyce polimerów i zastosowaniu do tego celu chromatografii żelowej (SEC) bez wątplenia miał ośrodek szczeciński reprezentowany przez prof. W. Królikowskiego, T. Spychaję czy A. Błędzkiego. To T. Spychaj wraz z D. Berekiem z Bratysławy (Czechosłowacja) opublikowali w języku polskim *Chromatografię żelową* [26]. Innym ważnym ośrodkiem akademickim na Pomorzu, z punktu widzenia interpretacji danych jest Słupsk i reprezentowana przez prof. A. Astela grupa chemometryczna i chemii obliczeniowej.

4.4. Ośrodek poznański

Liderem w Poznaniu, który szczegółowo zajmował się technikami instrumentalnymi w różnych wariantach oznaczeń analitycznych, a zwłaszcza technikami chromatograficznymi, zarówno z punktu widzenia teorii, jak i praktyki, był prof. Walenty Szczepaniak z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza [27]. Podobny wkład w budowę zespołu chemików/analityków w dziedzinie upowszechniania technik ekstrakcyjnych wniósł prof. Jan Szymanowski z Politechniki Poznańskiej. Prof. W. Szczepaniak zbudował silny zespół specjalistów zajmujących się fizykochemią powierzchni (prof. Nawrocki, prof. Wasiak, dr hab. I Rynkowska) oraz rozwojem nowej generacji faz i kolumn do chromatografii gazowej. Prof. Nawrocki skoncentrował swoje zainteresowania na charakterystyce porowatych adsorbentów, zwłaszcza krzemionkowych i cyrkonii, zwracając uwagę na chemiczną aktywność centrów adsorpcyjnych i ich wpływ na właściwości chromatograficzne. Prof. W. Wasiak z zespołem swoje zainteresowania naukowe koncentrował nad opracowaniem nowych kolumn i faz stacjonarnych dla potrzeb kapilarnej chromatografii gazowej. Badania w analizie pierwiastkowej w kontekście układów jonowych i specjacji z zastosowaniem sprzężonych

i łączonych układów chromatograficznych (LC, SEC i IC) i spektralnych (ICP-MS) realizuje prof. D. Barańkiewicz, prof. M. Frankowski, dr hab. A. Ziota-Frankowska i prof. P. Niedzielski wraz z zespołami (uczniowie prof. J. Siepaka).

Interesujące prace z zakresu tzw. *inwersyjnej chromatografii gazowej* były przedmiotem badań profesora Adama Voelkela, który kontynuuje prace prof. J. Szymanowskiego, wybitnego specjalisty w dziedzinie technik ekstrakcyjnych. Prof. Henryk Jeleń, czł. koresp. PAN wraz ze swoim zespołem (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu) reprezentował nowoczesne podejście do oznaczania różnych, zwłaszcza lotnych produktów spożywczych z wykorzystaniem połączonych technik chromatograficznych GC-MSⁿ i LC-MS a zwłaszcza systemów wysokorozdzielczych, (wysokorozdzielcza spektrometria mas). Ważnym elementem badań tej grupy jest zastosowanie zminiaturyzowanych technik ekstrakcyjnych (SPME, TD, ect). Technologie tą (HR-MS) w połączeniu z chromatografią cieczową w analizie biomolekuł rozwija również prof. M. Stobecki z Instytutu Chemii Bioorganicznej PAN.

4.5. Ośrodek łódzki

Łódź również miała swoich pionierów i propagatorów technik chromatograficznych. Liderem był prof. dr hab. Tadeusz Paryczak z Politechniki Łódzkiej uczeń wybitnego fizykochemika, pioniera z zakresu adsorpcji, z Uniwersytetu im. M. Łomonosowa w Moskwie prof. A.V. Kiselewa. Jako pierwszy w Polsce opublikował zwarte opracowanie monograficzne dotyczące chromatografii gazowej [28]. Stworzona przez niego grupa konsekwentnie pracowała nad fizykochemicznymi metodami rozdzielania całego spektrum związków organicznych i nieorganicznych (chemia ekologiczna), koncentrując się na przemysłowym wykorzystaniu tych technik. Aspekty zrównoważonego rozwoju i zielonej chemii dominowały w tych zastosowaniach. Spadkobiercami działalności prof. T. Paryczaka jest prof. I.M, Szynkowska-Jóźwik a w zakresie technik separacyjnych był prof. Jacek Rynkowski i jego uczennica – prof. J. Kałużna-Czaplińska. Wraz z lekarzami realizuje i uczestniczy ona w badaniach z zakresu metabolomiki, gdzie techniki chromatograficzne są wykorzystywane do celów diagnostycznych i terapii medycznej (np. autyzmu). Prof. J. Kałużna-Czaplicka popularyzuje techniki chromatograficzne w Łodzi, organizując sympozja oraz konferencje krajowe i międzynarodowe [29], we współpracy z prof. Z. Witkiewiczem uczestniczy w przygotowaniu opracowań książkowych.

Znaczną aktywność w zakresie technik chromatograficznych i elektrochemicznych Uniwersytet Łódzki wykazał poprzez pionierskie zespoły skupione wokół prof. M. Wrońskiego i prof. J. Masłowskiej. Z dużym powodzeniem tradycje te kontynuował zespół prof. E. Balda (prof. R. Głowacki i dr hab. G. Chwatko, dr hab. P. Kubalczyk) specjalizując się w oznaczaniu całej gamy biologicznie aktywnych związków (tiole, aminokwasy i/lub białka w próbkach biologicznych) stosując HPLC, CZE oraz nowe odczynniki derywatywacyjne.

Warto też wspomnieć, że intensywne badania w zakresie oznaczania i charakterystyki fizykochemicznej polimerów (chromatografia żelowa) prowadzono w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN. Wśród profesorów, którzy wnieśli znaczący wkład w rozwój tego typu chromatografii byli: prof. M. Kryszewskiego, prof. J. Michalskiego i prof. J. Chojnowskiego.

4.6. Ośrodek krakowski

Kolejnym miastem na mapie polskiej chromatografii jest Kraków, z jego fizykochemicznymi tradycjami akademickimi i renomowaną szkołą profesorów B. Kamieńskiego, K. Gumińskiego i M. Lasonia. Metody chromatograficzne opracowali tu profesor Ludwik Górski (Politechnika Krakowska) i prof. Jan Lasa (IFJ PAN i AGH). Profesor Górski zajmował się oznaczaniem całej gamy halogenowanych lotnych związków organicznych metodą chromatografii gazowej. Jego uczeń prof. A. Grochowalski kontynuował prace, wykorzystując wysokorozdzielcze systemy GC-MS do oznaczania dioksyn i furanów w próbkach środowiskowych. Zainteresowania prof. J. Lasy dotyczyły konstrukcji nowej generacji systemów detekcji GC, zaproponowanych przez dr. J. Lavelocka (laureat Nagrody Nobla) i opartych na wychwytywaniu elektronów z wykorzystaniem Ni⁶³. Zespół prof. J. Lasy (dr hab. I. Śliwka, dr J. Nęcki, dr A. Korus) zbudował na Kasprowym Wierchu pierwsze w Polsce laboratorium chromatograficzne włączone do globalnej sieci monitoringu, w celu analizy on-line gazów cieplarnianych i składu powietrza (smogu). Kontynuatorem aktywności tej grupy, oznaczanie lotnych składników powietrza wydychanego dla celów diagnostyki medycznej, jest prof. P. Mochalski pracujący obecnie na UJK w Kielcach [5,15].

Pierwsze oznaczenia związków o charakterze chiralnym, stosowanych w celach terapeutycznych, w latach 80. i 90. XX wieku z wykorzystaniem technik chromatograficznych z różnymi metodami detekcji, w tym MS, przedstawił prof. J. Bojarski z Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego. Na Wydziale Chemii UJ prof. A. Parczewski z uczniami i współpracownikami z Instytutu Ekspertyz Sądowych (prof. M. Kała, prof. J. Zięba-Palus, prof. W. Piekoszewski, prof. D. Zuba, prof. G. Zadora) zaproponowali oryginalne podejście do analizy związków psychotropowych i odurzających, w tym narkotyków w analizie toksykologicznej, kryminalistycznej i sądowej, z wykorzystaniem technik chromatograficznych i spektralnych oraz chemometrii. Kontynuatorami tej tematyki, uzupełnionej o analizę przepływową (FIA), techniki elektromigracyjne (CZE) and podstawy metrologiczne-kalibracyjne, byli/są prof. P. Kościelniak, dr hab. J. Kochana, dr hab. Renata Wietecha-Postuszny, dr hab. J. Kozak, dr hab. P. Nowak i dr R. Porada. Oprócz typowej działalności naukowej, systematycznie organizują oni sympozja, warsztaty i publikują monografie [5,11].

Inną bardzo aktywną grupą był zespół utworzony przez prof. J. Sillberinga (UJ/AGH), który z powodzeniem rozwijał zastosowanie technik sprzężonych (połączenie chromatografii z wysokorozdzielczą spektrometrią mas) z nowymi metodologiami i procedurami w oznaczaniu substancji biologicznie czynnych w obszarze –*omicznym* z uwzględnieniem miniaturyzacji technik separacyjnych. Grupa ta jest autorami licznych innowacyjnych opracowań, które zostały z powodzeniem zastosowane w laboratorium i przyniosły praktyczne rozwiązania [30].

4.7. Ośrodki na Śląsku

Do znaczącego rozwoju, postępu i popularyzacji technik separacyjnych w Polsce przyczyniła się tzw. *śląska grupa naukowców*, której niekwestionowanym liderem był/jest prof. Józef Śliwiok z Uniwersytetu Śląskiego oraz zespół specjalistów z zakresu chromatografii cieczowej (T. Kowalska, M. Sajewicz), chromatografii gazowej i preparatyki próbek (J. Rzepa, R. Sitek) oraz chromatografii i chemometrii (B. Walczak, M. Daszykowski). To oni w latach 80. XX wieku organizowali, najpierw w Katowicach, a później w Szczyrku, seminaria i sympozja

chromatograficzne. Prof. J. Śliwiok założył pierwsze polskie czasopismo „*Acta Chromatographica*” (1992), wydawane do dziś przez Kiado Academy (Węgry) [31].

Na Śląskim Uniwersytecie Medycznym w Zabrze (obecnie Śląski Uniwersytet Medyczny) zespół prof. Danuty Bodzek (K. Tyrpień-Golder, B. Janoszka) wykorzystywał również techniki chromatograficzne do oznaczania substancji biologicznie czynnych, w tym alkaloidów stosowanych w celach terapeutycznych. Dzięki prof. Michałowi Bodzkowi z Politechniki Śląskiej, do przygotowania próbek wykorzystano układy membranowe jako selektywne i specyficzne wysokosprawne systemy separacyjne. Prof. R. Michalski zajmuje się rozdzielaniem i oznaczaniem analitów o charakterze jonowym (anionów, kationów), w tym analizą specyjalną. W Instytucie Inżynierii Środowiska PAN w Zabrzu wyspecjalizował się w chromatografii jonowej. Jest autorem licznych podręczników i publikacji z zakresu techniki oraz organizatorem licznych konferencji poświęconych tej tematyce i redaktorem naczelnym czasopisma *Laboratorium* [32].

W Gliwicach na Politechnice Śląskiej grupę badawczą stosującą techniki separacyjne zbudowała również prof. Irena Staneczko-Baranowska (dr hab. S. Bajkacz, dr hab. H. Barchałowska, dr J. Płonka, dr B. Kowalski). Z powodzeniem grupa ta realizowała liczne prace naukowo-badawcze z zakresu rozwoju metodologii oznaczania substancji biologicznie czynnych z wykorzystaniem chromatografii cieczowej sprzężonej z różnymi detektorami, w tym MS. Aktywność biologiczna, chiralność, a także zależności i korelacje fizykochemiczne to zagadnienia, które pozwoliły wyjaśnić wiele mechanizmów na granicy faza ruchoma – faza stacjonarna – analit. We współpracy z autorem niniejszego opracowania powstało fundamentalne dzieło opublikowane przez PWN i Springera *Bioanalitika/Bioanalytics* [5, 33,34].

Ważnym ośrodkiem akademickim, w którym również rozwinięto i spopularyzowano techniki separacyjne, jest Wrocław i tamtejsza Politechnika, reprezentowana przez zespół skupiony wokół prof. Bożeny Kolarz. Prof. B. Kolarz specjalizowała się w przygotowywaniu materiałów porowatych, zwłaszcza adsorbentów do chromatografii cieczowej i jonowymiennej (prof. A. Trochimczuk). Działali tu również specjaliści z zakresu separacji membranowej (prof. T. Bryjak lub prof. W. Walkowiak), koncentrując się na metodach przygotowania próbek lub ich przemysłowym wykorzystaniu w chemii środowiska. Analiza żywności, ze szczególnym uwzględnieniem jej jakości i kontroli, w tym technik ekstrakcji nadkrytycznej (w skali laboratoryjnej i półtechnicznej), jest domeną badaczy związanych z prof. T. Trziszką i prof. A. Szumnym z Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Uczniem prof. B. Kolarza jest prof. Piotr Wieczorek, który prowadzi działalność zawodową na Uniwersytecie Opolskim. Tam, wraz z prof. P. Kafarskim i współpracownikami (prof. J. Lipokiem, dr hab. A. Poliwodą, dr hab. J. Janicką-Misiak), rozwijał techniki chromatograficzne i elektromigracyjne, sorbenty nowej generacji (MIP) czy układy membranowo-cieczowe jako selektywne i specyficzne techniki przygotowania próbek [5,9].

4. 8. Ośrodki na Podkarpaciu i Podlasiu.

Znaczną aktywność w modelowaniu mechanizmów związanych z opisem przenoszenia masy za pomocą deskryptorów i zależności termodynamicznych w kolumnowej chromatografii cieczowej (w skali analitycznej i preparatywnej) wykazuje zespół pod kierunkiem prof. K. Kaczmarskiego i prof. D. Antosa z Politechniki Rzeszowskiej. W Siedlcach, na Uniwersytecie

Humanistyczno-Przyrodniczym, techniki chromatograficzne i elektromigracyjne (ITP) rozwija prof. M. Kluska. Z Podlasiem związany jest również zespół prof. Elżbiety Skrzydlewskiej z Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku. Dominujące tematy ich działalności związane są z opisem stresu oksydacyjnego oraz analizą związków biologicznie czynnych w różnych preparatach farmaceutycznych. Metabolomika w diagnostyce i terapii medycznej to zainteresowania naukowe zespołu kierowanego przez prof. M. Ciborowskiego, gdzie głównym narzędziem badawczym jest połączenie chromatografii cieczowej i gazowej z wysokorozdzielczą spektrometrią mas. Pionierką popularyzacji technik chromatograficznych (TLC) na Uniwersytecie w Białymstoku była jednak prof. dr hab. Helena Puzanowska-Tarasiewicz, której prace kontynuują prof. J. Karpińska, dr hab. E. Nalewajko-Sieliwoniuk i prof. A. Kojło (techniki przepływowe – FIA) [5].

4. 9. Toruńska Szkoła Metod Separacyjnych

W regionie kujawsko-pomorskim rozwój metod separacyjnych, w zakresie technik membranowych, przypisuje się działalności naukowej prof. Anny Narębskiej z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Była ona uczennicą prof. A. Basińskiego i zbudowała zespół uznany nie tylko w Polsce, ale i na świecie (R. Wódzki, J. Ceynowa, S. Koter i W. Kujawski, J. Kujawa, P. Szczepański). Jego badania koncentrowały się na różnorodnych rozwiązaniach teoretycznych i praktycznych w zakresie separacji z wykorzystaniem różnych technik membranowych. Jednakże rzeczywisty rozwój i postęp badań teoretycznych i praktycznych w zakresie chromatografii na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu datuje się od momentu, kiedy prof. Bogusław Buszewski, czł. rzecz. PAN, przeniósł się do Torunia (1994 r.). Stworzył on w strukturach uniwersytetu unikatowe Centrum Metod Separacyjnych i Bioanalitycznych – *BioSep* – z silną reprezentacją młodych adeptów nauki (wypromował ponad 50 doktorów, był mentorem 25 habilitantów i 10-ciu profesor). Prowadzone tam były wspólne badania nad opisem mechanizmów retencji (R. Kaliszan, M. Jaroniec, E. Bayer, K. Albert, A. Alpert, M. Markuszewski, T. Bączek, P. Jandera, P. Stepnowski, T. Tuzimski, J. Garaj, D. Berek, Z. Suprynowicz, R.M. Gadzała-Kopciuch, A. Maruška, Sz. Bocian, S. Studzińska, M. Michel, M. Szultka-Młyńska, M. Skoczyła, i inni) w elucji chromatograficznej, przygotowaniu faz stacjonarnych i preparatyce kolumn (MIP, MOF) lub ich miniaturyzacji (M. Szumski, T. Ligor, J. Sillbering, M. Kluska, E. Kłodzińska, M. Michel, M. Ligor, A.I. Ratiu, A. Amann, L. Pilet). Ważnym działem były opracowania dotyczące przygotowania próbek i prace nad różnego rodzaju odmianami procesu ekstrakcji (t.j.: SPE, DSPE, SMPE, SFE, TD, itd.) (Z. Suprynowicz, P. Božek, D. Berek, M. Szumski, A. Maruška, R.M. Gadzała-Kopciuch, M. Szultka-Młyńska, T. Ligor, J. Namieśnik) [5,9,35-37].



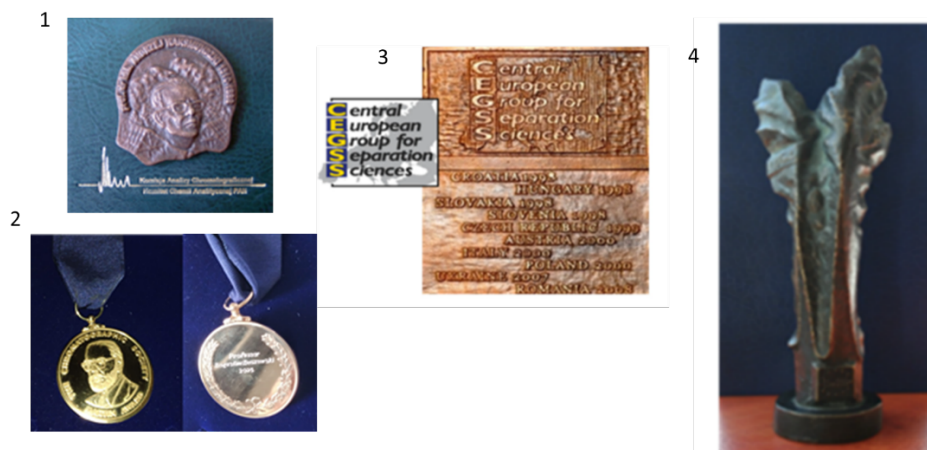
Rys. 5. Toruńska grupa prof. B. Buszewskiego podczas jego pracy w UMK w Toruniu

Najnowsze badania koncentrowały się i koncentrują na chemii materiałowej i nanotechnologii, zwłaszcza nanokompozytach (białko-metal), koloidów i biokoloidów jako układach selektywnych i specyficznych w rozdzielaniu skomplikowanych mieszanin (M. Sprynskyy, L. Pilet, M. Sugajski). Ważnym tematem zapoczątkowanym przez prof. B. Buszewskiego i jego zespół były i są pionierskie badania i prace nad oznaczaniem patogenów i białek (proteomika) z wykorzystaniem technik elektromigracyjnych (CZE) sprzężonych z technikami spektralnymi (MALDI) i obrazowania (E. Kłodzińska, M. Szumski, E. Dziubakiewicz, A. Król, R. Dzingelevičienė, D. Błońska) lub frakcjonowanie w zmiennym polu (FFF) (T. Kowalkowski, A. Gołębiowski). W tym ostatnim przypadku szczególną uwagę zwrócono na opracowanie własnej konstrukcji kanałów-chipów do prowadzenia procesu. Te oryginalne i nowatorskie rozwiązania metodologiczne i technologiczne w przygotowaniu próbek w sposób komplementarny uzupełniają zainteresowania toruńskiego zespołu. Badania nad produktami i surowcami naturalnymi oraz jakością żywności i pasz to kolejne ważne i aktualne wyzwania. Poszukiwanie markerów wczesnego wykrywania chorób nowotworowych czy chorób cywilizacyjnych w obszarze *-omiki* (pionierskie prace z zakresu bioanalitiky) to kolejne ważne zagadnienie związane z technikami separacyjnymi w analizie biomedycznej i farmaceutycznej, z pogranicza chemii, biologii, medycyny czy nauk z zakresu *life sciences* (T. Ligor, M. Ligor, T. Jezierski, A. Amann, M. Jackowski, J. Szeliga, W. Kupczyk, A.I. Ratiu, H. Al Saoud, M. Buszewska-Forajta, M. Śmiełowska) [33-35].

Grupa toruńska była również bardzo aktywna w organizacji znaczących krajowych, europejskich i światowych konferencji naukowych i sympozjów (ISC, ISSS, ExTech, Breath and Cancer Diagnosis, Metabolomika, FINBiS, Chemia surowców naturalnych, itp.). Od wielu lat, zarówno w Lublinie jak i w Toruniu, organizowane były studia podyplomowe, warsztaty i szkoły analityczne, uznawane nie tylko w Polsce ale i za granicą. Prezentowano na nich podstawowe i najnowsze osiągnięcia w zakresie technik rozdzielania, przygotowania próbek, układów sprzężonych i wielowymiarowych oraz metrologii i chemometrii. Zespół z innymi grupami np. z Gdańska lub Poznania realizował i realizuje wiele międzynarodowych i krajowych projektów badawczych, publikuje prace badawcze, przeglądowe jak też opracowania monograficzne,

patenty w najlepszych czasopiśmie i wydawnictwach światowych. Za swoją działalność zespół został uhonorowany wieloma nagrodami i wyróżnieniami w tym prestiżowym Medalem Martina (B. Buszewski) (Rys. 6)[37-39].

Prof. B. Buszewski jest honorowym przewodniczącym Komitetu Chemii Analitycznej PAN i przewodniczącym Środkowoeuropejskiej Grupy Nauk Separacyjnych (CEGSS). Jest również przewodniczącym kapituły, przyznającej Europejską Nagrodę im. Tswietta i Nernsta oraz Medal im. prof. A. Waksmundzkiego (Rys. 6). Organizacje te aktywnie popularyzują techniki separacyjne, organizując konferencje, sympozja, warsztaty, publikując monografie i publikacje oraz realizując granty i projekty [9, 37-39].



Rys. 6. Wyróżnienia z zakresu technik separacyjnych: 1) Medal im. prof. A. Waksmundzkiego (Komitet Chemii Analitycznej PAN), 2) Medal im. APJ Martina (ChromSoc, UK), 3) Medal CEGSS, 4) statuetka Nagrody im. Tswetta i Nernsta (EuSSS i CEGSS).

W regionie kujawsko-pomorskim, w Bydgoszczy, głównie w *Collegium Medicum* Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, działa również grupa zajmująca się technikami separacyjnymi, której mentorami byli prof. Roman Kaliszan, prof. Bogusław Buszewski i prof. Janusz Pawliszyn. Są oni związani z farmacją, biochemią, analityką biomedyczną i -omiką (prof. B. Bojko, A. Buciąński, M. Marszał, D. Piesik, P. Kosobucki, W. Filipiak, D. Gackowski i R. Oliński), gdzie dominującą dziedziną badań jest chromatografia, spektrometria mas i/lub chemometria.

Piśmiennictwo cytowane:

1. B. Buszewski, *Walther H. Nernst - Chemik, Innowator, Człowiek*, Wiadomości Chemiczne, **77**, **2023**, 9-10,1
2. M.S. Tswett, *Trudy Warszawskiego obszczestwa*, Odd. Biologii 14, **1903**, 20.
3. R. Kuhn, E. Lederer, *Berichte*. **1933**. <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cber.19330660320>.
4. M.J.P. Martin, **1947**. <https://pubs-1rsc-1org-10006e5n71ef1.han3.uci.umk.pl/en/content/articlepdf/1948/ar/ar9484500238?page=search>.
5. B. Buszewski, *Quo vadis chromatographia, New solutions and challenges at the beginning of the 21st century*, *Chem. Anal.*, **48**, **2003**, 347.
6. A.L. Dawidowicz, *Lubelska Szkoła Chromatografii (od Katedry Chemii Fizycznej do Katedry Chromatografii)*, *Wiadomości Chemiczne*, **78**, **2024**, 9-10, 1161.
7. A. Hulanicki, *Polscy chemicy analitycy i ich osiągnięcia do roku 1939*. *Analityka* **2**, **2016**, 68.
8. J. Opieńska-Blauth; A.Waksmundzki, M. Kański, *Chromatografia*; PWN: Warszawa, **1957**
9. B. Buszewski, R.M. Gadzała-Kopciuch, B. Godlewska-Żyłkiewicz: *Almanach Komitetu*

Chimii Analitycznej PAN, Warszawa, 2016.

10. T. Kościelski, D. Sybilska, J. Jurczak, *Separation of α - and β -pinene into enantiomers in gas-liquid chromatography systems via α -cyclodextrin inclusion complexes*. *J. Chromatogr.*, **280**, **1985**, 131.
11. P. Kościelniak, M. Trojanowicz, *Analiza Przepływowa, Metody i Zastosowania*; Wyd. Uniwersytetu Jagiellońskiego: Kraków, **2012**.
12. Z. Witkiewicz, E. Śliwka, *Chromatografia i techniki elektromigracyjne, Słownik pięcioletni*; WNT; Warszawa, **2016**.
13. COBRABiD. Aparatura Badawcza i Dydaktyczna; COBRABiD: Warszawa, **1995**.
14. A. Wróbel, J. Kotulska; *Pitagoras z Waksmundą*; Wyd. II: Lublin, **2010**.
15. M. Waksmundzka-Hajnos; *Waks i przyjaciele, Opowieści o profesorze Andrzeju Waksmundzkim*, Wydaw. UMCS, Lublin **2023**.
16. A. Wróbel, A. Chomicka, *Mały, wielki człowiek, czyli życie i pasje profesora Edwarda Soczewińskiego*; BestPrint: Lublin, **2007**.
17. J.S. Kowalczyk, *Poprzez XX wiek, od dzieciństwa do profesury*; Wydział Chemiczny Politechniki Gdańskiej: Gdańsk, **2004**.
18. R. Kaliszan, *QSRR; Quantitative structure-(chromatographic) retention relationships*. *Chem. Rev.*, **107**, **2007**, 3212.
19. G.N. Sagandykova, P.P. Pomastowski, R. Kaliszan, B. Buszewski, *Modern analytical methods for consideration of natural biological activity*. *TrAC-Trends Anal. Chem.*, **109**, **2018**, 198.
20. P. Koniczka, . Namieśnik, *Ocena i kontrola jakości wyników pomiarów analitycznych*; WNT: Warszawa, **2007**.
21. T. Dymerski, J. Gębicki, W. Wardencki, J. Namieśnik, *Quality evaluation of agricultural distillates using an electronic nose*. *Sensors* **13**, **2013**, 15954.
22. A. Gałuszka, Z. Migaszewski, J. Namieśnik, *The 12 principles of green analytical chemistry and the SIGNIFICANCE mnemonic of green analytical practices*. *TrAC Trends Anal. Chem.* **50**, **2013**, 78.
23. C.L. Arthur, J. Pawliszyn, *Solid phase microextraction with thermal desorption using fused silica optical fibers*. *Anal. Chem.*, **62**, **1990**, 2145.
24. T. Górecki, J. Harynuk, O. Panic, *The evolution of comprehensive two-dimensional gas chromatography (GC x GC)*. *J. Sep. Sci.* **27**, **2004**, 359.
25. P. Stepnowski, P.; A. Miller, P. Bahrend, J. Ranke, J. Hoffmann, B. Jastorff, *Reversed-phase liquid chromatographic method for the determination of selected room-temperature ionic liquid cations*. *J. Chromatogr.*, **993**, **2003**, 173.
26. D. Berek, T. Spychaj, *Chromatografia Żelowa*; WNT: Warszawa, **1989**.
27. W. Szczepaniak, *Metody Instrumentalne w Analizie Chemicznej*; PWN: Warszawa, **2004**.
28. T. Paryjczak, *Chromatografia gazowa w badaniu adsorpcji i katalizy*; PWN: Warszawa, **1975**.
29. Z. Witkiewicz, J. Kałużna-Czaplińska, *Podstawy Chromatografii i Technik Elektromigracyjnych*; WNT: Warszawa, **2017**.
30. D. Kraj, A. Drabik, J. Silberring, *Proteomika i metabolomika*; Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego: Warszawa, **2010**.
31. J. Śliwiok, J.; T. Kowalska, M. Sajewicz, *Acta Chromatographica*; Uniwersytet Śląski: Katowice, Poland; Akademia Kiado; Budapest, Hungary, **1992**.
32. R. Michalski, *Chromatografia Jonowa*; PWN: Warszawa, **2020**.
33. I. Baranowska, *Analiza Śladowa—Zastosowania*; Wyd. Malamut; Warszawa, **2013**.

34. B. Buszewski, I. Baranowska, *Bioanalytika* PWN **2020**, *Handbook of Bioanalytics*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, **2022**.
35. B. Buszewski, E. Dziubakiewicz, M. Szumski, *Electromigration Techniques, Theory and Practice*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, **2013**.
36. P. Žuvela, M. Skoczylas, J. Liu Jay, T. Bączek, R. Kaliszan, M.W. Wong, B. Buszewski, *Column characterization and selection systems in reversed-phase high-performance liquid chromatography*. *Chem. Rev.* 119, **2019**, 3674.
37. Komitet Chemii Analitycznej PAN. Available online: <https://kcha.pan.pl/index.php/en/>
38. Central European Group of Separation Sciences; <https://cegss.ptchem.pl/>
39. European Society for Separation Science; <https://www.mett.hu/eusss/index.php/2-uncategorised/16-nernstswett-award>