

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Automatyzacja instrumentalnych analiz chemicznych

AGATA WĄCHAŁA, ZYGFRYD WITKIEWICZ

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, WYDZIAŁ NOWYCH TECHNOLOGII I CHEMII,
INSTYTUT CHEMII, GEN. URBANOWICZA 2, 01-476 WARSZAWA

Słowa kluczowe: automatyzacja, pobieranie próbek, przygotowanie próbek, urządzenia łączone, instrumentalne analizy chemiczne

STRESZCZENIE:

Przedmiotem artykułu jest przegląd bieżących tendencji w automatyzacji procesów analitycznych. W pierwszej części pracy nacisk został położony na problematykę pobierania próbek, ze szczególnym zwróceniem uwagi na automatyzację przygotowania próbek do końcowej analizy. Omówione i porównane zostały trzy podstawowe tryby przygotowania próbek: on-line, at-line i off-line. W drugiej części artykułu opisane zostały techniki łączone i ich zastosowanie w nowoczesnych laboratoriach analitycznych. Zwrócono przy tym uwagę na konieczność integracji systemów obsługujących urządzenia analityczne. Porównano dwa najbardziej obiecujące rozwiązania: skryptowanie i wprowadzanie ujednoczonych standardów.

The automation of instrumental chemical analysis

Keywords: automation, sampling, on-line, coupled instruments, instrumental chemical analyzes

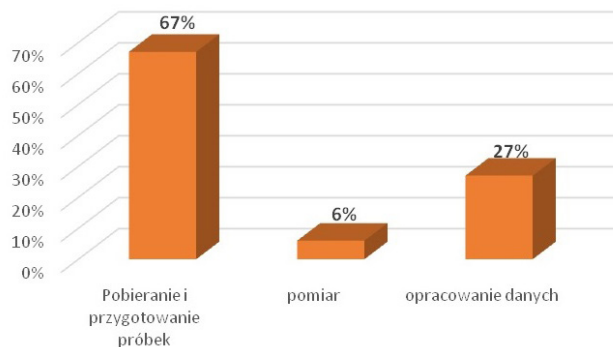
ABSTRACT:

The subject of the article is a review of current trends in the automation of analytical processes. In the first part of the work the problem of sampling was carried out, with particular attention to the automation of sample preparation for analysis. Three basic methods of sample preparation were discussed and compared: on-line, at-line and off-line. The second part of the article describes combined techniques and their application in modern laboratories. Attention was paid to the need to integrate systems that support research devices. Scripting and introducing standards were compared as the most promising solutions.

1. WPROWADZENIE

Każdego dnia w laboratoriach na świecie analizowane są ogromne ilości próbek różnych materiałów. Są to materiały pochodzące z organizmów żywych i z elementów szeroko rozumianego środowiska w postaci gazów, cieczy i ciał stałych. Niektóre z nich zawierają nieznanne wcześniej związki chemiczne. Zwykle występują one w mieszaninach, co niesie ze sobą potrzebę ciągłego doskonalenia metod analitycznych. Według Chemical Abstracts Service obecnie znanych jest ponad 100 mln związków chemicznych [1]. Niektóre z nich występują na bardzo niskich poziomach stężeń. Dlatego stosowanie klasycznych metod analizy jest w wielu przypadkach niewystarczające do tego, aby uzyskiwać dobre wyniki wykrywania, identyfikacji i oznaczania poszczególnych związków chemicznych, z dobrą wiarygodnością wyników, w możliwie krótkim czasie. W celu otrzymania coraz bardziej dokładnych wyników, w krótkim czasie, z bardzo dobrą odtwarzalnością i powtarzalnością, przy mniejszych kosztach analizy niż przy stosowaniu tradycyjnych metod stosuje się automatyzację instrumentalnych analiz chemicznych [2]. Automatyzacja analiz chemicznych jest najbardziej zaawansowana w przemyśle farmaceutycznym i w analizach biomedycznych [3].

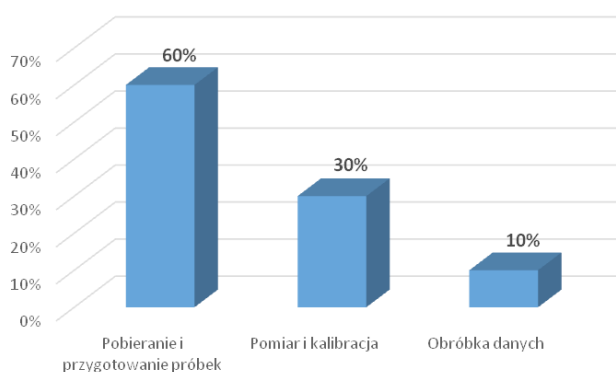
Analiza chemiczna jest złożonym procesem, który składa się z następujących etapów: pobranie próbki i jej transport do laboratorium, przygotowanie próbki do analizy, właściwa analiza i opracowanie danych analitycznych. Biorąc pod uwagę poszczególne etapy procedury analitycznej, najbardziej czasochłonną jej częścią jest pobranie i przygotowanie próbki. Aby pobrany materiał był pełnowartościowy analitycznie, musi być pobrany w sposób reprezentatywny. Pobranie i przygotowanie próbki do analizy jest jej bardzo ważnym etapem. Nawet najlepszy przyrząd stosowany do analizy nie zapewni dobrego wyniku, jeżeli próbka będzie źle pobrana i niewłaściwie przygotowana. Każda próbka pierwotna, czyli taka, która stanowi część badanego materiału, składa się z matrycy, analitu lub analitów oraz zanieczyszczeń. Przygotowanie próbki polega zwykle na zmianie matrycy, usunięciu zanieczyszczeń i zateżeniu (rzadziej rozcieńczeniu) analitu. Pobranie i przygotowanie próbki jest zwykle najbardziej czasochłonne i zajmuje około 70% całkowitego czasu potrzebnego do wykonania analizy – Rysunek 1 [4].



Rysunek 1 Czas potrzebny na wykonanie poszczególnych czynności w trakcie analizy chemicznej [4]

Figure 1 Time needed to perform particular activities during chemical analysis [4]

Na każdym etapie procedury analitycznej istnieje ryzyko popełnienia błędu. Ryzyko to jest największe na etapie przygotowania próbki do analizy i błąd tego etapu stanowi największą część ogólnego błędu analizy, wynoszącą ok. 60% – Rysunek 2. Dlatego im mniejszy jest błąd popełniany na tym etapie, tym mniejsza jest ogólna niepewność wyniku analizy. Inaczej mówiąc, wynik analizy może być tak dobry, jak dobre było przygotowanie próbki.



Rysunek 2 Źródła błędów popełnianych w trakcie analizy chemicznej [4]

Figure 2 Sources of errors made during chemical analysis [4]

W pracach dotyczących automatyzacji analizy instrumentalnej można wyróżnić dwie tendencje. Pierwsza z nich polega na automatyzacji procedur przygotowania próbek. Druga natomiast skupia się na automatyzacji działania przyrządów analitycznych i ich oprogramowaniu. Ogólnym celem automatyzacji jest skrócenie czasu analizy, zwiększenie dokładności wykonywanych analiz i dążenie do wykonywania analiz w miejscu występowania analitów.

2. AUTOMATYZACJA POBIERANIA PRÓBEK

Istnieją trzy podstawowe tryby przygotowania próbek do analizy: at-line, off-line i on-line. Czasem wyróżniany jest czwarty tryb – in-line, który w istocie jest bezpośrednim pomiarem parametrów badanego procesu chemicznego. Układy detekcyjne analizatorów in-line są umieszczane w formie komórki przepływowej bezpośrednio w badanym materiale i trudno jest mówić o wyodrębnionym etapie przygotowania próbki. Dlatego w niniejszej pracy są opisane pozostałe trzy tryby przygotowania próbek [5].

W trybie off-line próbkę przygotowuje się na stanowisku niepołączonym z przyrządem analitycznym. Po przygotowaniu próbki przenosi się ją do przyrządu analitycznego. Takie postępowanie umożliwia kilkukrotne przeprowadzenie analizy przygotowanej próbki przy zastosowaniu różnych przyrządów analitycznych. Daje to możliwość wyboru optymalnej metody analitycznej. Jednak przeprowadzenie takiej analizy wymaga zaangażowania wysoce wykwalifikowanych specjalistów. Przekłada się to zatem na wysoki koszt pojedynczej analizy. Wiąże się to również z długim czasem potrzebnym na otrzymanie wyniku – od kilku minut w przypadku priorytetowych analiz do kilku godzin lub dni dla standardowych analiz. Należy zwrócić uwagę na istnienie ryzyka, że w trakcie transportu i oczekiwania na wykonanie pomiaru mogą zajść niepożądane reakcje, które spowodują, że otrzymany wynik nie będzie odpowiadał pierwotnemu składowi analizowanego materiału [6].

Tryb at-line jest modyfikacją trybu off-line. Postępowanie z próbką jest analogiczne jak dla trybu off-line, jednak laboratorium albo pomieszczenie, w którym istnieje możliwość wykonania pomiaru, znajduje się bliżej miejsca pobrania i przygotowania próbki. Dzięki temu wynik można otrzymać w dużo krótszym czasie, co pozwala na wykorzystanie wyników analizy np. do kontroli warunków procesu technologicznego. Dzięki temu możliwe jest bieżące monitorowanie procesu i sprawdzanie, czy jego parametry mieszczą się w zakładanym zakresie. Dodatkowo przyrząd może generować alarmy, dźwiękowe lub wizualne, jeżeli którykolwiek z mierzonych parametrów nie mieści się w specyfikacji. Sposób ten, podobnie jak tryb off-line, jest pracochłonny. Może też być niebezpieczny dla osoby pracującej, bowiem podczas pobierania próbek operator jest często narażony

na kontakt z wysoką temperaturą albo ciśnieniem. W wyniku tego nie zawsze jest możliwość pobrania próbki w momencie, który będzie pozwalał na kontrolę procesu w czasie rzeczywistym. Może to przekładać się na jakość prowadzonych procesów. Tryb on-line polega na bezpośrednim połączeniu urządzenia do przygotowania próbki z przyrządem analitycznym. Takie rozwiązanie jest szczególnie korzystne, jeżeli jest zastosowane w miejscu, w którym wizualizacja otrzymywanych wyników jest najbardziej pożądana. Takie połączenie ma cechy systemu automatycznego i może być stosowane bez bezpośredniego udziału operatora. Przy całkowitej automatyzacji systemu rekomenduje się, aby analiza była wykonywana w trybie „open-loop”, czyli pętli zwrotnej. Oznacza to, że otrzymane wyniki muszą być skonfrontowane i zaakceptowane przez technika obsługującego system tak, aby mógł on w każdej chwili zdalnie wpłynąć na proces pomiaru.

Przyrząd analityczny dodatkowo może być bezpośrednio połączony z innymi urządzeniami zewnętrznymi, tak by można było nimi automatycznie sterować, np. poprzez uruchamianie lub wyłączanie pompy dozującej. Wśród niewątpliwych zalet systemów on-line należy wyróżnić dobrą powtarzalność i rzetelność wyników analizy poprzez wyeliminowanie wpływu czynnika ludzkiego z toku procedury analitycznej. Operator nie pracuje bowiem tak powtarzalnie jak automat, np. w wyniku zmęczenia czy złego samopoczucia. Ograniczenie bezpośredniego kontaktu z analizem zwiększa również bezpieczeństwo pracy personelu laboratorium.

Na Rysunkach 3 i 4 podano przykłady automatycznych urządzeń do przygotowania próbek do analizy.



Rysunek 3 Automatyczne urządzenie do ekstrakcji techniką SPE

Figure 3 Automatic device for SPE extraction



Rysunek 4 Automatische urządzenie do ekstrakcji aparatem Soxhleta

Figure 4 Automatic device for extraction |with Soxhlet apparatus

Oprócz stosunkowo prostych urządzeń automatycznych stosuje się urządzenia z ruchomymi ramionami: pojedynczymi i podwójnymi – Rysunek 5. Takie roboty mogą wykonywać czynności podobnie jak człowiek. Są to zwykle automaty stacjonarne. W niektórych laboratoriach wykorzystywane są roboty mogące być przemieszczane między urządzeniami znajdującymi się w laboratorium.

Pewną wadą automatycznych systemów analitycznych może być ich dość wysoki koszt zakupu i późniejszej eksploatacji. W Tabeli 1 porównano cechy sposobów przygotowania próbek do analizy.

Wybór najbardziej dogodnego, spośród wyżej wymienionych, sposobu przygotowania próbek



Rysunek 5 Urządzenie dwuramiennie do przygotowania próbek do analizy

Figure 4 A two-arm device for the preparation of samples for analysis

do analizy powinien być dokonany z uwzględnieniem wielu czynników. Jednym z nich jest wydajność przyrządu analitycznego w stosunku do czasu przygotowania próbek. Jeżeli czas analizy i czas przygotowania próbek do analizy jest zbliżony, to automatyczny system on-line będzie najbardziej efektywnym rozwiązaniem. W przypadku gdy czas przygotowania próbki jest krótki, lepszym rozwiązaniem może być układ off-line. Istotnym aspektem są ograniczenia instalacyjne, możliwości przerobowe laboratorium oraz ryzyko przestoju w razie awarii systemu działającego w trybie on-line. Bardzo ważnym czynnikiem decydującym o wyborze systemu analitycznego jest wielkość próbki pierwotnej w stosunku do próbki analitycznej. Jeżeli próbka pierwotna jest znacznie większa od analitycznej, to korzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie trybu off-line [7]. Na Rysunku 6 przedstawiono schemat automatycznego systemu analitycznego on-line, który

Tabela 1 Porównanie trybów on-line, at-line i off-line przygotowania próbek do analizy (opracowanie własne na podstawie [6])

Table 1 The comparison of on-line, at-line and off-line modes for samples preparation for analysis (prepared ourselves on the base [6])

| | Off-line | At-line | On-line |
|--|------------------------|----------------|--------------------|
| Miejsce pomiaru | Laboratorium | Fabryka | Proces analityczny |
| Pobieranie i przygotowanie próbek | Manualne | Manualne | Automatyczne |
| Częstość pomiaru | Niska | Średnia | Wysoka |
| Liczba mierzonych parametrów | Duża | 1-4 | 1-4 |
| Czas realizacji | ➤ 60 min | ~30 min | 5-10 min |
| Przeprowadzenie pomiaru | Pracownik laboratorium | Operator | Automat |
| Zakres pomiarowy | Elastyczny | Ustalony | Ustalony |

umożliwia przygotowanie próbki do analizy za pomocą chromatografu gazowego. W systemie tym próbki mogą być przygotowywane z wykorzystaniem kilku technik. Mogą to być następujące techniki: ekstrakcja ciecz – ciało stałe (SPE), ekstrakcja jednorazowymi pipetami (DPX), dynamiczna faza nadpowierzchniowa (DHS), faza nadpowierzchniowa (HS), mikroekstrakcja do fazy stacjonarnej (SPME), termodesorpcja z ciał stałych lub cieczy (ATEX), ekstrakcja ruchomym elementem sorpcyjnym (SBSE). Możliwa jest także automatyczna wymiana wkładki dozownika chromatografu, dodawanie wzorca wewnętrznego, ekstrakcja cieczą, rozcieńczanie, derywatywacja, ogrzewanie lub chłodzenie próbki, jej mieszanie i ważenie. Przykładem systemu off-line może być manualne przygotowanie próbek, które umieszczone następnie w automatycznym dozowniku chromatografu albo elektroforegrafu kapilarnego są analizowane nocą, wg zaprogramowanej komputerowo procedury.



Rysunek 6 Chromatograf gazowy wyposażony w automatyczny układ przygotowania i dozowania próbek
Figure 6 Gas chromatograph equipped with an automatic preparation system and sample dispensing

3. POŁĄCZENIE URZĄDZENIA DO PRZYGOTOWANIA PRÓBEK Z PRZYRZĄDEM ANALITYCZNYM

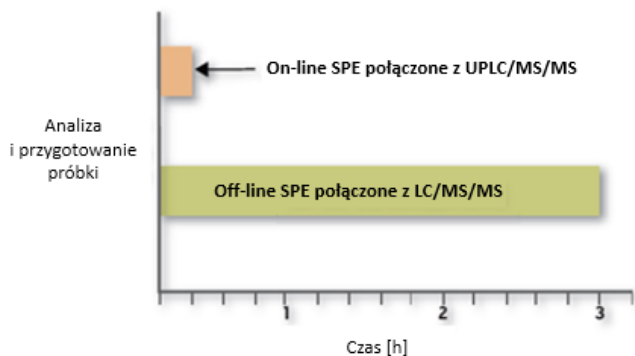
Początki automatyzacji w laboratoriach badawczych sięgają końca XIX wieku, gdy naukowcy zaczęli ułatwiać sobie pracę, np. poprzez używanie zautomatyzowanych filtrów. Od kilkunastu lat

obserwuje się intensywne dążenie do łączenia ze sobą różnych metod i technik pomiarowych. Realizacja tych dążeń stała się możliwa w wyniku szybkiego rozwoju informatyki. Już w latach 80. XX wieku w Kochi Medical School w Japonii doktor Masahide Sasaki otworzyła pierwsze w pełni zautomatyzowane laboratorium [8]. Takie podejście, stosowane przez coraz więcej grup badawczych, zaczęło być określane akronimem TLA, który pochodzi od angielskich słów *Total Laboratory Automation*. Pełna automatyzacja laboratoriów jest jednak bardzo kosztowna. Dlatego aby umożliwić wprowadzenie automatyzacji do mniejszych laboratoriów, wykorzystuje się podejście modułowe, pozwalające na stopniową rozbudowę automatycznych systemów analitycznych.

Jedną z pierwszych metod analitycznych, którą zaczęto automatyzować, była chromatografia gazowa. Dotyczyło to wyposażania chromatografów w automatyczne dozowniki i łączenia ich z innymi przyrządami analitycznymi.

Przykładem połączenia sposobu przygotowania próbki z przyrządem analitycznym jest ekstrakcja SPE przed analizą za pomocą HPLC. Wciąż jeszcze odbywa się to głównie przy użyciu techniki off-line. Jednak można to również przeprowadzić techniką on-line poprzez połączenie automatycznego ekstraktora SPE (Rys. 3) z chromatografem, np. za pomocą dwupozycyjnego, sześciopozycyjnego zaworu łączącego ekstraktor z dozownikiem chromatografu [9]. Takie połączenie nie tylko pozwala zaoszczędzić analizę i chronić kolumnę chromatograficzną przed zanieczyszczeniami, ale także przeprowadzić analizę w znacznie krótszym czasie niż w systemie off-line.

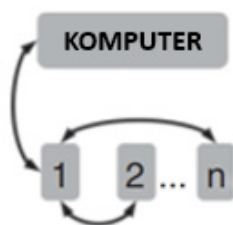
Połączenie on-line SPE i HPLC pozwala na znaczne usprawnienie analizy wodnych próbek. Takie kompleksowe rozwiązanie, w którym wykorzystuje się techniki łączone w systemie SPE/LC/MS/MS, zapewnia przeprowadzenie ekstrakcji, oczyszczania, rozdzielania i wykrywania analitów w jednym miejscu. Pozwala to jednocześnie znacznie skrócić czas potrzebny na analizę, np. z kilku godzin do 15 minut. Zastosowanie rozwiązania on-line pozwala zredukować czas analizy nawet o 90% w stosunku do czasu potrzebnego w analizie w trybie off-line. Na Rysunku 7 porównano czas analizy wody pitnej wykonanej za pomocą tej samej metody przygotowania próbek i analizy chromatograficznej w konfiguracji off-line i automatycznej on-line [10].



Rysunek 7 Porównanie czasu analizy wody pitnej z wykorzystaniem techniki SPE w układzie off-line i on-line [10]

Figure 7 Comparison of time of drinking water analysis using SPE technique in off-line and on-line mode [10]

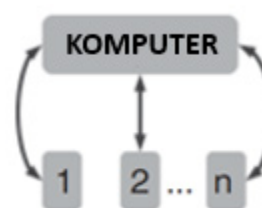
Koniecznym warunkiem umożliwiającym łączenie ze sobą różnych urządzeń pomiarowych jest system, który pozwala na przekazanie, analizę oraz opracowanie danych – najlepiej w czasie rzeczywistym. Komunikacja pomiędzy poszczególnymi instrumentami laboratoryjnymi może odbywać się z poziomu komputera, który kontroluje jeden z instrumentów. Instrument ten z kolei kontroluje pozostałe urządzenia – Rysunek 8. Nie ma więc bezpośredniego kontaktu pomiędzy komputerem a wszystkimi urządzeniami wchodzącymi w skład układu pomiarowego. Jest to rozwiązanie bardzo często stosowane. Użytkownik ma bezpośrednią kontrolę jedynie nad jednym – głównym urządzeniem. Zaletą tego rozwiązania jest jego prostota, ponieważ operator musi obsługiwać tylko jeden program, który steruje całym zestawem instrumentów. Jednak ogranicza to wymianę poszczególnych części układu pomiarowego. Nie każde urządzenie będzie kompatybilne z instrumentem sterującym. Może to więc uniemożliwić zakup tańszych zamienników, wymuszając na użytkownika wybór dedykowanych przez producenta części.



Rysunek 8 Schemat sterowania układem automatycznym poprzez sterowanie jednym urządzeniem, które kontroluje pozostałe urządzenia. Strzałki pokazują ścieżki wymiany danych [8]

Figure 8 The control scheme of the automatic system controlling one device that controls the other devices. The arrows show data exchange paths [8]

Alternatywnym rozwiązaniem do sterowania układem pomiarowym jest skryptowanie [11]. Polega ono na zaprogramowaniu komputera, że kieruje on pracą systemu automatycznego bez udziału użytkownika. Program zastępuje operacje wykonywane przez człowieka, głównie kliknięcia myszą lub wprowadzanie tekstu. Pozwala to na sterowanie każdym z urządzeń z osobna, mimo że pomiędzy poszczególnymi urządzeniami nie ma bezpośredniej komunikacji – Rysunek 9. Wszystko odbywa się z poziomu programu komputera. Nawet w przypadku, gdy instrumenty pomiarowe nie są dopasowane do siebie pod względem oprogramowania, istnieje możliwość ich integracji poprzez stworzenie odpowiedniego interfejsu. Pozwala to na dużą dowolność przy zakupie komponentów, dając tym samym możliwość zakupu tańszych odpowiedników lub lepszego sprzętu potrzebnego do osiągnięcia założonego celu. Dodatkową zaletą tego rozwiązania jest fakt, że większość urządzeń jest z reguły projektowana w taki sposób, iż może komunikować się tylko z jednym urządzeniem. Dzięki skryptowaniu nie ma ograniczeń co do liczby instrumentów, które mogą być ze sobą zsynchronizowane.



Rysunek 9 Schemat komunikacji między urządzeniami systemu analitycznego metodą skryptowania [8]

Figure 9 Diagram of communication between the analytical system devices using the scripting method [8]

Brak kompatybilności pomiędzy urządzeniami w układzie pomiarowym można rozwiązać za pomocą wprowadzania jednakowych standardów. Oznaczałoby to synchronizację wszystkich protokołów w łączonych instrumentach laboratoryjnych już na etapie ich produkcji. Dzięki temu dużo łatwiejsza byłaby integracja nowych urządzeń ze sobą lub wymiana zepsutego aparatu na inny. Wprowadzenie standardów może być bardzo dobrym rozwiązaniem sterowania częściami układu automatycznego, jednak jest ono trudne do wdrożenia w praktyce. Jednym z działań w tym kierunku jest powołanie konsorcjum producentów systemów i oprogramowania do sprzętu laboratoryjnego o nazwie SiLA (Standards in Laboratory Automation) [8]. Wprowadzenie standardów

napotyka na opór ze strony producentów urządzeń pomiarowych, którzy z różnych względów chcą zachować swoje własne rozwiązania.

Między systemem standardów i skryptów istnieje kilka zasadniczych różnic. Do systemu skryptów jest dostępna technologia. Ta metoda integracji urządzeń laboratoryjnych może być wprowadzona w każdym momencie. Skryptowanie jest korzystniejsze dla producentów urządzeń laboratoryjnych ze względu na to, że nie muszą niczego zmieniać w swoim procesie produkcyjnym. W przeciwieństwie do stosowania ujednoczonych standardów, skryptowanie nie nakłada na nich żadnych ograniczeń w zakresie stosowanych rozwiązań technologicznych.

Wprowadzenie standardów, teoretycznie bardzo korzystne, jest obecnie niemożliwe ze względu na brak dostępności tego rozwiązania dla większości urządzeń. Innym problemem jest dostosowanie obecnie funkcjonujących laboratoriów do zmian. Ujednoczone standardy wymagałyby dostosowania wszystkich sprzętów do ustalonych standardów. Niejednokrotnie spowodowałoby to konieczność wymiany sprawnych urządzeń na nowe, co wiązałoby się z dodatkowymi kosztami. Ponadto aby wszystkie urządzenia były ze sobą kompatybilne, konieczne byłoby zastosowanie uniwersalnego interfejsu (integratora) kontrolującego wszystkie urządzenia.

Wdrożenie skryptowania jest stosunkowo proste. Wymagane jest tylko przeszkolenie pracownika obsługującego aparaturę z zakresu nowego oprogramowania. Istotnym argumentem przemawiającym za coraz większym zainteresowaniem skryptowaniem jest fakt, że nawet starsze aparaty mogą być kompatybilne z takim rozwiązaniem. Nie są wymagane dodatkowe nakłady finansowe,

ponieważ programy do obsługi są w większości bezpłatne.

4. PODSUMOWANIE

Automatyzacja procedur analitycznych jest obecnie coraz powszechniejsza. Dotyczy to zarówno automatyzacji przygotowania próbek, jak i łączenia urządzeń automatycznych do przygotowania próbek z przyrządami analitycznymi. Dzięki temu można znacznie skrócić czas potrzebny do wykonania analizy, zaoszczędzić na odczynnikach i kosztach operacyjnych oraz wykonywać analizy z mniejszymi błędami. Zastosowanie programów sterujących znacznie ułatwia obsługę aparatury analitycznej, nawet przez osoby, które nie są wysoko wykwalifikowanymi specjalistami. Automatyzacja instrumentalnych analiz chemicznych przynosi niewątpliwie korzyści dla laboratorium, wśród których można wymienić:

- jakość – wyeliminowanie ręcznych operacji przy przygotowaniu próbek i ich analizie zapewnia lepszą dokładność i powtarzalność wyników, czyli zwiększa ich wartość
- przepustowość – skrócenie czasu analizy zwiększa możliwości analityczne laboratorium; w takim samym czasie można zanalizować więcej próbek
- koszt – zmniejszenie liczby pracowników laboratorium, mniejsze zużycie odczynników i skrócenie czasu analiz oraz brak konieczności przechowywania przygotowanych próbek do analizy mogą prowadzić do zmniejszenia kosztów funkcjonowania laboratorium
- wydajność – redukcja czasu potrzebnego na przygotowanie próbki pozwala na realizację innych zadań przez wyspecjalizowanych pracowników, co oznacza lepsze wykorzystanie zasobów laboratorium.

Tabela 2 Zestawienie różnic pomiędzy skryptowaniem i stosowaniem standardów przy automatyzacji laboratoriów [8]

Table 2 The collation of differences between scripting and introducing standards during laboratories automation [8]

| | Skryptowanie | Stosowanie standardów |
|--|---------------------|------------------------------|
| Dostępne technologie | Gotowe | Rozwijane |
| Kompatybilność wsteczna | Tak | Nie |
| Ogólna akceptacja | Niekonieczna | Konieczna |
| Trudność wdrożenia | Znikoma | Duża |
| Łatwość wprowadzenia do nowych urządzeń | Tak | Nie |
| Trudność dla użytkowników | Niska | Umiarkowana |
| Koszty dla producenta | Bardzo niskie | Wysokie |
| Koszty dla użytkownika | Bardzo niskie | Wysokie |

LITERATURA

- [1] The PubChem Compound Database www.ncbi.nlm.nih.gov/pccompound [dostęp 20.12.2018].
- [2] R. Michalski, A. Łyko, Application of modern instrumental methods and techniques for the environmental analysis, *Materiały III Ogólnopolskiego Kongresu Inżynierii Środowiska*, Lublin, 13-17 września 2009, 157-163.
- [3] K. Thurow, H. Fleischer, Future lab – the automated laboratory of the future, *G.I.T. Laboratory Journal*, 22/4, 2018, 14-19.
- [4] A. Hulanicki, *Współczesna chemia analityczna*, PWN, Warszawa, 2001.
- [5] J. Pawliszyn, *Comprehensive Sampling and Sample Preparation*, Academic Press, 2012, Sampling Strategy for Process Control, 85-97.
- [6] MEP Instruments, www.mep.net.au/processchemist/PC_2/MEP_Inline_On_line_At_line_Off_line_Analysers.pdf [dostęp 7.12.2018].
- [7] HTA sampling for science, <https://www.hta-it.com/blog/sample-preparation-online-or-offline.html> [dostęp 30.12.2018].
- [8] M. Carvalho, *Practical Laboratory Automation Made Easy with AutoIt*, Wiley-VCH, 2016, 1-7.
- [9] “Automated sample preparation – sample enrichment and clean-up with the Agilent 1100 Series valve solutions” Agilent Technologies Brochure, Publication Number 5989-0510EN, 2010.
- [10] “WATERS UPLC WITH ON-LINE SPE TECHNOLOGY. Automated on-line SPE with the performance of UPLC”, Waters Corporation Brochure, Publication Number 720003353EN AO-CP, 2011.
- [11] M. Carvalho, Integration of Analytical Instruments with Computer Scripting, *J. Lab. Automation*, 18, 2013, 328-333.