



Interdyscyplinarny charakter chemii sanitarnej

Kazimierz Szymański^{}, Maria Włodarczyk-Makula^{**}*

^{}Politechnika Koszalińska*

*^{**}Politechnika Częstochowska*

1. Wstęp

Chemia sanitarna jest częścią szeroko pojętej chemii środowiska. Zakres tematyki chemii sanitarnej obejmuje analizy jakościowe wody i ścieków [5, 7, 11, 16, 18].

W ramach analiz wód badaniami obejmowane są wody podziemne i powierzchniowe, będące źródłem zaopatrzenia w wodę gospodarki narodowej czyli ludności, przemysłu i rolnictwa. Wody podziemne i powierzchniowe charakteryzują się zmiennymi właściwościami jakościowymi. Skład wód podziemnych jest odmienny od składu wód powierzchniowych. Chemia sanitarna mająca podstawy w chemii ogólnej i analitycznej pozwala na dostarczenie informacji o jakości tych wód [22, 27, 34, 36]. Ma to decydujące znaczenie w projektowaniu i prowadzeniu procesów uzdatniania wody. Uwzględniając zróżnicowane wymagania odnośnie składu jakościowego wody przeznaczonej do wykorzystania, zakres wykonywanych analiz jest niejednorodny. Wynika to także z wymagań określonych odpowiednimi aktami prawnymi dotyczącymi wody do spożycia, wody przeznaczonej do celów przemysłowych, w tym do celów energetycznych, chłodniczych, przemysłu spożywczego, farmaceutycznego i innych [22, 40, 41]. W odniesieniu do wód powierzchniowych i podziemnych należy wspomnieć także o zakresie ich monitoringu oraz o substancjach priorytetowych dla środowiska wodnego [33, 39]. Zakres analiz dla tych wód jest ciągle poszerzany i realizowany w ramach Programów Monitoringu Środowiska. Aktualny program został opracowany na lata 2013–2015 i obecnie jest w trakcie realizacji [55]. Należy dodać,

że lista substancji priorytetowych dla środowiska wodnego jest ciągle uaktualniana, także w przepisach Unii Europejskiej. W 2013 roku przyjęto do realizacji Dyrektywę polegającą na wprowadzeniu obowiązku analizy nowych jedenastu związków głównych z uwzględnieniem niektórych ich izomerów. Dla kolejnych jedenastu wyznaczono mniejsze dopuszczalne stężenia. Zmienione środowiskowe normy jakości dla obecnych substancji priorytetowych powinny zostać po raz pierwszy uwzględnione w planach gospodarowania wodami w dorzeczych na lata 2015–2021. Nowo zidentyfikowane substancje priorytetowe oraz ich środowiskowe normy jakości powinny zostać uwzględnione przy tworzeniu dodatkowych programów monitorowania, które mają zostać przedstawione do końca 2018 r. W celu poprawy stanu chemicznego wód powierzchniowych, zmienione środowiskowe normy jakości dla obecnych substancji priorytetowych powinny zostać osiągnięte do końca 2021 r., natomiast środowiskowe normy jakości dla nowo zidentyfikowanych substancji powinny zostać osiągnięte do końca 2027 r. [9].

W ramach badań dotyczących ścieków, zakres analiz dostosowany jest do ich rodzaju. Wynika to z odmiennej charakterystyki jakościowej ścieków bytowo-gospodarczych, opadowych i przemysłowych, a także ich mieszanin o zróżnicowanych udziałach, które często wprowadzane są do miejskich oczyszczalni jako komunalne [35, 38]. Podobnie jak w przypadku wód uzdatnianych do konkretnych celów, także w przypadku ścieków skład jakościowy decyduje o wyborze metody i urządzeń do ich oczyszczania. Analizy chemiczne są wykonywane na każdym etapie oczyszczania, natomiast najistotniejsze z punktu widzenia ochrony środowiska są badania ścieków oczyszczonych. Zakres tych analiz jest odpowiedni do wymagań jakie wynikają z przepisów prawnych dotyczących warunków wprowadzania ścieków do odbiorników powierzchniowych, ziemi czy kanalizacji. W aktualnie obowiązującym rozporządzeniu dotyczącym ścieków oczyszczonych wymienia się pięć podstawowych wskaźników dla ścieków bytowych - gospodarczych, szesnaście – dla ścieków przemysłowych szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz 59 – dla pozostałych zanieczyszczeń. Dla 75 wskaźników podano metodyki referencyjne do ich oznaczania z odniesieniem do zbioru Polskich Norm [38].

Również odnośnie wprowadzania ścieków do kanalizacji opracowane są i obowiązują odpowiednie przepisy prawne określające warunki

jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do sieci [31, 46]. Warunki te obejmują dopuszczalne stężenia trzynastu substancji uznanych za szczególnie szkodliwe dla środowiska wodnego oraz 49 innych związków (m.in. rtęć, kadm, związki organiczne oznaczane jako AOX, BTX, VOX, WWA czy surfaktanty). Analizy chemiczne wykonywane są także w odniesieniu do wód opadowych. Badania jakościowe wód opadowych pozwalają na ocenę przydatności tych wód do celów przemysłowych oraz gospodarczych. Badania te są wykonywane najczęściej w zakładach przemysłowych w celu oceny możliwości wykorzystania ich do celów chłodniczych lub innych przemysłowych. Obowiązek wykonywania analiz chemicznych ścieków wynika także z konieczności zachowania warunków odprowadzania ścieków do środowiska, określonych w pozwoleniach wodnoprawnych, które wymagane są przy szczególnym korzystaniu ze środowiska i wprowadzaniu do kanalizacji substancji pochodzenia przemysłowego [37, 47].

Analizy chemiczne są niezbędne także w przypadku osadów ściekowych przeznaczonych do przyrodniczego wykorzystania (rolniczego i poza rolniczego). W tym przypadku wymagania prawne dotyczą siedmiu metali ciężkich oraz organizmów patogennych [35]. W przypadku jednak wykorzystania rolniczego osadów do nawożenia przepisy polskie są niewystarczające wobec faktu, że w osadach ściekowych zidentyfikowano mikrozanieczyszczenia organiczne. Są to grupy związków halogenoorganicznych, do których należą: polichlorowane dibenzodioxyny/dibenzofurany (PCDD/, PCDF), polichlorowane bifenyle (PCB), wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), adsorbowalne na węglu aktywnym halogenki organiczne (AOX) oraz etyloheksyloftalany (DEHP), nonylofenole i ich etoksylaty (NPE) czy też środki powierzchniowo czynne (liniowe alkilowe benzosulfoniany-LAS). Identyfikacja tych związków w osadach jest ważna, gdyż wymienia się je w propozycji zmian Dyrektywy osadowej Unii Europejskiej z podaniem dopuszczalnych stężeń w osadach ściekowych przeznaczonych do rolniczego wykorzystania [14].

Na obecnym etapie rozwoju technik analitycznych, w chemii sanitarnej wykorzystywane są nie tylko metody badawcze, które są znane od dawna lecz także inne, oparte na nowoczesnych technikach analitycznych (instrumentalnych). Metody znane od wielu lat są ciągle udoskonalane, a nowe wykorzystują najnowsze osiągnięcia nauki. Powszechnie stosowane są metody badawcze zaliczane do optycznych, elektroanali-

tycznych, chromatograficznych oraz spektroskopowe, spektrometryczne i termometryczne. Do metod optycznych zalicza się spektrofotometrię absorpcyjną w zakresie nadfioletu i światła widzialnego, spektrofotometrię w podczerwieni, spektroskopię ramanowską, metody fluorescencyjne, spektralną analizę emisyjną oraz absorpcyjną spektrometrię atomową. Wśród metod elektroanalitycznych wymienia się potencjometrię i kulometrię (wraz z miareczkowaniem), polarografię, konduktometrię oraz amperometrię i voltamperometrię. Natomiast metody chromatograficzne to: chromatografia gazowa, wysokociśnieniowa cieczowa i cienkowarstwowa. Ponadto w analizach chemicznych wykorzystywane są także takie metody, jak spektroskopia rezonansu jądrowego i elektronowa, spektrometria mas czy promieniowania rentgenowskiego. W wielu procedurach badawczych wykorzystywane są techniki sprzężone, pozwalające na uzyskanie wiarygodnych wyników w przypadku złożonych matryc środowiskowych. Przykładem jest połączenie chromatografii gazowej ze spektrometrem mas GC-MS oraz kwadrupolowym GC-MS/MS, chromatografu cieczowego z detektorem fluorescencyjnym HPLC-Flu i inne [17, 23, 26, 43].

Wybór metodyki oznaczania powinien głównie uwzględniać kryteria zapewniające dokładność wyników, istniejące możliwości aparaturowe oraz ekonomiczne. W przypadku analiz wód oraz ścieków metodyki referencyjne są określone w odpowiednich przepisach prawnych oraz w zbiorze Polskich Norm [38]. Nie zawsze jednak procedury obowiązujące i określone w tych dokumentach są wystarczające do oznaczania szerokiej gamy związków chemicznych, występujących w wodach lub ściekach.

Przegląd przepisów prawnych dotyczących warunków jakie powinna spełniać: woda kierowana do uzdatniania z przeznaczeniem do spożycia, woda wprowadzana do sieci wodociągowej, woda do celów przemysłowych oraz ścieki bytowe, przemysłowe odprowadzane do odbiorników, pozwala uzasadnić stwierdzenie, że zakres wymaganych analiz chemicznych jest szeroki. Obejmuje bowiem związki nieorganiczne i organiczne oraz grupy związków określane wskaźnikami ogólnymi, a tendencja zmian w przepisach prawnych polega m.in. na poszerzaniu list analizowanych substancji. Należy jednak zaznaczyć, że w praktyce inżynierskiej nie wszystkie związki i substancje analizowane są z jednakową częstotliwością. Wynika to z zakresu obowiązujących analiz w odniesieniu do różnych mediów, a także z dostępności aparatury badawczej.

Możliwości analityczne w chemii sanitarnej zapewniają oznaczenie ilościowe różnych związków, także występujących w ilościach śladowych. A doskonalenie procedur i nowoczesne instrumentarium umożliwia oznaczanie coraz szerszej grupy związków z większą dokładnością i precyzją. Wiarygodność wyników analiz chemicznych ma także wymiar ekonomiczny, gdyż jest istotna z punktu widzenia obciążenia przedsiębiorstw karami za przekroczenie warunków wprowadzania ścieków do wód lub do ziemi [29, 30].

2. Powiązania chemii sanitarnej z innymi dyscyplinami naukowymi

W wykazie obszarów wiedzy, dziedzin nauki i dyscyplin, jaki znajduje się w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, chemia sanitarna nie jest wymieniana jako oddzielna dyscyplina. W obszarze nauk ścisłych wyszczególnia się dziedzinę nauk chemicznych i dyscyplinę pod ogólną nazwą „chemia”. Ze względu na tematykę, opisaną w pkt. 2.1 dotyczącą analiz wód i ścieków, chemia sanitarna jest ściśle związana z ochroną środowiska pozostającą w tej samej dziedzinie i obszarze wiedzy. Dyscyplina pod nazwą „ochrona środowiska” znajduje się także w dziedzinie nauk biologicznych w obszarze nauk przyrodniczych. Natomiast dyscyplina „ochrona i kształtowanie środowiska” znajduje się w dziedzinie nauk rolniczych w obszarze nauk rolniczych, leśnych i weterynaryjnych. Ze względu na aplikacyjny charakter chemii sanitarnej można stwierdzić, że jest ona także ściśle związana z dyscypliną pod nazwą „inżynieria środowiska”, którą umieszczono w wykazie w dziedzinie i obszarze wiedzy wśród nauk technicznych [32].

Metodyka badań analitycznych stosowana jest w laboratoriach Inspektoratów Ochrony Środowiska w placówkach badawczych i naukowych oraz uczelniach wyższych i zakładach przemysłowych. Część z tych laboratoriów, po spełnieniu odpowiednich wymagań akredytacyjnych, posiada certyfikaty na wykonywanie konkretnych oznaczeń w wodzie i w ściekach (laboratoria akredytowane). W przypadku badań analitycznych, jakie są wykonywane dla wody i ścieków, niezwykle ważna jest obróbka statystyczna wyników oraz walidacja procedur analitycznych. Obróbka statystyczna wyników wymaga znajomości testów statystycznych, warunków ich stosowania oraz umiejętności ich interpretacji

i weryfikacji. Walidacja procedur analitycznych jest niezbędna nie tylko w przypadku opracowywania nowej metody lecz jest dokonywana także przy rozszerzeniu zakresu stosowania opracowanej wcześniej metody, wykorzystywaniu innej aparatury lub w przypadku, gdy stosowana metoda nie zapewnia otrzymania wiarygodnych wyników [20]. Laboratoria w Inspektoratach Ochrony Środowiska są stosunkowo dobrze wyposażone w aparaturę analityczną, często posiadają odpowiednie certyfikaty, co gwarantuje otrzymywanie wiarygodnych wyników. W laboratoriach tych wykonywane są analizy kontrolne dla zakładów przemysłowych emitujących ścieki oraz badania monitoringowe. Laboratoria zakładowe natomiast wykonują oznaczenia ściśle związane z profilem produkcji, najczęściej zawężając zakres analiz do wskaźników wyznaczonych w pozwoleniach wodnoprawnych. Zatem wykorzystanie niektórych metodyk badawczych chemii sanitarnej dotyczy także zakładów przemysłowych.

W praktyce inżynierskiej instrumenty i wyniki analiz prowadzone w ramach chemii sanitarnej wykorzystywane są przy projektowaniu sieci wodociągowych oraz kanalizacyjnych. Dotyczy to zwłaszcza instalacji transportujących ścieki przemysłowe lub inne, zawierających szczególnie toksyczne czy też agresywne zanieczyszczenia. Tym samym istotny jest dobór rodzaju materiałów z których wykonywane są sieci i instalacje.

Wyniki analiz jakościowych wody i ścieków wykorzystywane są odpowiednio w projektowaniu procesów jednostkowych uzdatniania wody oraz oczyszczania ścieków. Potwierdza to ścisły związek chemii sanitarnej z inżynierią środowiska. Analizy chemiczne są wykonywane nie tylko na etapie projektowania lecz także podczas eksploatacji stacji uzdatniania wody i oczyszczalni ścieków. Badania chemiczne pozwalają określić efektywność poszczególnych procesów jednostkowych w usuwaniu zanieczyszczeń wody oraz ścieków [8, 54]. Wyniki analiz chemicznych umożliwiają także bieżące sterowanie procesami technologicznymi w celu uzyskania możliwie najlepszych efektów w usuwaniu zanieczyszczeń w istniejących układach technologicznych. Obróbka statystyczna wyników analiz chemicznych jakości wody ujmowanej lub/i oczyszczanej oraz ścieków wskazuje kierunki modernizacji i wymiany urządzeń lub zmiany technologii. Analizy chemiczne wykonywane są także w zakładach przeróbki osadów ściekowych, kompostowniach, biogazowniach i spalarniach odpadów. Dlatego w aspekcie przyrodniczego i przemysłowego wykorzystania ustabilizowanych biologicznie materiałów występują istotne powiązania chemii sanitarnej z rolnictwem i energetyką.

Jak wykazano, badania będące w obszarze chemii sanitarnej pozwalają na ocenę stanu środowiska, zatem można stwierdzić, że tematyka ta związana jest z ochroną zdrowia człowieka. W literaturze naukowej wykazano, że wiele zanieczyszczeń występujących w środowisku wodnym posiada działanie toksyczne na organizmy. Związki te lub substancje występują w niewielkich ilościach, zatem ich wykrycie jest analitycznie trudne ale niezwykle istotne. Z punktu widzenia zdrowia człowieka należy jeszcze wspomnieć, że mimo niskich stężeń związki te ulegają kumulacji w organizmie, przemianom metabolicznym, a w konsekwencji mogą inicjować zmiany o charakterze rakotwórczym, mutagennym i teratogennym. Przykładem są niektóre z połączeń organicznych zaliczanych do PCDD, PCDF, PCB, WWA, substancje aktywne stosowane jako składniki pestycydów czy insektycydów oraz inne halogenowe pochodne organiczne [6, 13, 15, 19, 21, 50, 44].

Chemia sanitarna dostarczając informacji o stanie środowiska ma podstawowe znaczenie także w opracowaniu przepisów prawnych dotyczących zagadnień gospodarki wodno-ściekowej, a także przepisów związanych z ochroną zdrowia. Do tego celu badania kontrolne składników środowiska prowadzone są w warunkach laboratoryjnych i terenowych. Uważa się jednak, że z punktu widzenia ochrony zdrowia szczególnie ważne są badania prowadzone w warunkach terenowych [16, 28, 48].

3. Aktualny stan rozwoju chemii sanitarnej w Polsce

3.1. Syntetyczny przegląd problemowy osiągnięć naukowych w latach 1990–2012

Na podstawie informacji uzyskanych z uczelni krajowych można stwierdzić, że w latach 1990–2012 prowadzone badania skupiały się wokół następujących problemów i zagadnień:

- oznaczanie składników wód i ocena stanu jakości wód powierzchniowych i podziemnych oraz identyfikacja źródeł zanieczyszczeń,
- badania migracji zanieczyszczeń w środowisku wodnym i gruntowo-wodnym,
- badania przemian zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych w procesach technologicznych,
- uzdatnianie wody i oczyszczanie ścieków, a także przeróbka odpadów, w tym także osadów ściekowych.

Nawiązując do danych, które znajdują się w załączniku do niniejszej monografii, w Politechnice Białostockiej głównie oceniano jakość wód podziemnych i powierzchniowych z uwzględnieniem zbiorników retencyjnych. Ponadto w obszarze badań było usuwanie związków powierzchniowo czynnych z wody i ze ścieków. Szeroko zakrojone badania, m.in. w Politechnice Koszalińskiej, dotyczyły też transformacji zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych w środowisku, jak i podczas procesów technologicznych stosowanych do oczyszczania ścieków i przeróbki odpadów. Spośród składników nieorganicznych analizowano metale ciężkie w odciekach składowiskowych, osadach ściekowych i kompostach. Procesy technologiczne będące w obszarze badań to procesy fizyczne takie jak adsorpcja metali ciężkich z odcieków składowiskowych, podciśnieniowe odwadnianie i spalanie oraz biochemiczne takie jak fermentacja metanowa czy kompostowanie. Ponadto prowadzono badania biologicznego przetwarzania odpadów organicznych z uwzględnieniem odzysku energii. W odniesieniu do zanieczyszczeń organicznych określano migrację fenolu i chlorofenoli w strefie saturacji. Badania prowadzone w Politechnice Krakowskiej skupiały się wokół oznaczania substancji priorytetowych dla środowiska wodnego oraz procesu koagulacji stosowanego w uzdatnianiu wód. W Politechnice Poznańskiej badania z zakresu chemii sanitarnej dotyczyły głównie chemicznych i biologicznych podstaw inżynierii środowiska. Zakres badań prowadzony w Politechnice Śląskiej był także stosunkowo szeroki. W obszarze badań była ocena stanu jakości wód powierzchniowych z uwzględnieniem metali ciężkich oraz identyfikacja obszarowych źródeł zanieczyszczeń. Badania technologiczne polegały na separacji mikrozanieczyszczeń w procesach membranowych, w tym także na membranach enzymatycznych. Ponadto prowadzono badania usuwania prekursorów ubocznych produktów dezynfekcji z wody. W Politechnice Świętokrzyskiej natomiast prowadzono badania migracji substancji ropopochodnych oraz metali ciężkich w wodzie i w osadach ściekowych. W Uniwersytecie Zielonogórskim badaniami objęto zbiorniki acidotroficzne z określeniem ich pochodzenia i rozwoju. Chemizm wód podziemnych oraz wpływ procesów geogenicznych i czynników antropogennych na ich jakość badano w Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie. W obszarze badań były także wody powierzchniowe, gdzie określano zależność jakości od warunków hydrogeologicznych i budowy geologicznej oraz warunki retencji zbiornikowej. W Uniwersytecie Techniczno-Przyrodniczym w Bydgoszczy głównym tematem badań były analizy spektrome-

tryczne wody do spożycia, wód powierzchniowych, podziemnych i chłodzących. W Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym natomiast tematyka badań związana była z oczyszczaniem ścieków przemysłowych oraz przeróbką osadów ściekowych wydzielonych ze ścieków przemysłowych.

3.2. Wpływ chemii sanitarnej na rozwój i postęp naukowo-techniczny w wodociągach i kanalizacji

Stan rozwoju chemii sanitarnej determinuje rozwój innych obszarów wiedzy, o których pisano wyżej. Doskonalenie technik analitycznych pozwala na poszerzanie i uszczegółowienie informacji dotyczących jakości wód i ścieków. Jak wiadomo sieci wodociągowe i kanalizacyjne znajdują się na drodze obiegu wody od miejsca poboru (wody powierzchniowe, wody podziemne), poprzez instalacje oczyszczania i jej wykorzystanie, a następnie oczyszczanie i odprowadzanie ścieków do odbiornika. Obieg ten zamyka się, gdyż najczęściej odbiornikiem ścieków oczyszczonych są wody powierzchniowe.

4. Światowe tendencje rozwoju metod analitycznych

Chemia sanitarna wprawdzie nie jest oddzielną dyscypliną naukową w świetle prawa, aczkolwiek odgrywa bardzo ważną rolę interdyscyplinarną, gdyż pozwala na pozyskiwanie informacji niezbędnych dla rozwoju innych dyscyplin naukowych i innych obszarów wiedzy. Podstawowym kierunkiem rozwoju chemii sanitarnej są działania zmierzające do uzyskania wyczerpujących i wiarygodnych informacji analitycznych. Te działania prowadzone są w obszarach [20]:

- doskonalenia technik analitycznych,
- opracowania nowych metod oznaczania pierwiastków i związków chemicznych w próbkach środowiskowych, w tym także dotychczas nie analizowanych,
- szerszej identyfikacji związków nowo powstających „*emerging organic contaminants*”,
- opracowania procedur przygotowania i oznaczania analitów w próbkach środowiskowych, pozwalających na oznaczanie substancji, w tym także takich, które występują w ilościach śladowych ($<0,01\%$), mikrośladowych ($<10^{-4}\%$), ultraśladowych ($<10^{-6}\%$) oraz submikrośladowych ($<10^{-8}\%$),

- minimalizacji strat analitów, aparatury oraz czasochłonności analiz,
- obróbki statystycznej wyników analiz

Doskonalenie technik analitycznych polega na automatyzacji i łączeniu różnych metod pozwalających na równoczesne oznaczanie kilku analitów. Wśród nich wymienia się połączenia technik chromatograficznych z ekstrakcją płynem w stanie nadkrytycznym, ekstrakcję z desorpcją termiczną czy ekstrakcję membranową, w tym także z wykorzystaniem membran ciekłych [10, 26, 49]. Wykorzystanie zautomatyzowanych urządzeń pomiarowo-kontrolnych jest szczególnie ważne w badaniach *in situ*, gdyż pozwala na uzyskanie informacji o stanie środowiska, migracjach zanieczyszczeń oraz umożliwia bieżącą kontrolę zmian jakościowych. Nowe metody natomiast polegają na wykorzystywaniu bieżących osiągnięć fizyki, biochemii i inżynierii genetycznej, a także ekotoksykologii i bioanalitiky.

Pozwala to na oznaczanie coraz większej ilości składników nawet w bardzo małych stężeniach oraz identyfikację nowych. Należy zaznaczyć, że w środowisku wodnym w sposób ciągły zachodzą przemiany biotyczne oraz abiotyczne. W wyniku przemian biochemicznych powstają metabolity oraz inne związki, których identyfikacja nierzadko jest powierzchniowa. Ponadto w środowisku wodnym oraz w ściekach coraz częściej identyfikuje się pozostałości substancji chemicznych, które określane są „*emerging contaminants*”. Do tej grupy zanieczyszczeń zalicza się pozostałości farmaceutyków, środków kosmetycznych (*personal care products*), surfaktantów, konserwantów i związków zabezpieczających przed zapłonem (*flame retardants*) oraz innych chloro- i bromoorganicznych. Ponadto szeroką i dotychczas słabo przebadaną grupę związków stanowią związki chemiczne zaburzające działanie układu endokrynologicznego EDC (*Endocrine Disrupting Compounds*). Do tej grupy zalicza się dioksyne PCDD, furany PCDF, polichlorowane bifenylole PCB, DDT, ftalany DEHP i alkilofenole. Oprócz wymienionych oznacza się także hormony pochodzenia naturalnego i syntetyczne, które są m.in. składnikami farmaceutyków. Grupy te wzajemnie się przenikają, a działanie poszczególnych związków, jak i ich mieszanin, na organizmy w większości przypadków jest toksyczne. Głównym źródłem tych związków są ścieki oraz spływy powierzchniowe. Spośród ścieków szczególnie obciążone są ścieki przemysłowe z produkcji tworzyw sztucznych,

kosmetyków, farmaceutyków, przeróbki paliw i innych, a też szpitalne i z gospodarstw hodowlanych. Równocześnie wysokie stężenia ww. zanieczyszczeń obserwuje się w ściekach bytowo-gospodarczych. Uwzględniając fakt, że ścieki wprowadzane do kanalizacji i oczyszczalni ścieków miejskich są mieszaniną o różnym składzie oraz, że w klasycznych procesach oczyszczania, zanieczyszczenia nie są usuwane w wystarczającym stopniu, można stwierdzić, że ścieki komunalne są głównym nośnikiem tych związków, obecnych w środowisku wodnym [1–4, 45].

W opracowywaniu nowych procedur oznaczania znanych związków chemicznych działania te prowadzone są dwutorowo: w kierunku oznaczania analitów występujących w ilościach submikrośladowych oraz w kierunku rozdzielania i izolowania poszczególnych analitów. Do związków występujących w małych stężeniach w wodach, których identyfikacja wymaga wyodrębniania poszczególnych związków zalicza się: WWA, dioksyny, furany, lub/i inne węglowodory, a też chlorowcopochodne organiczne. W tych przypadkach ważnym etapem analizy jest przygotowanie próbek przy zachowaniu warunków ograniczających straty analitów. Elementem potwierdzającym prawidłowość analizy jest wyznaczenie stopnia odzysku, stosowanie materiałów certyfikowanych lub wzorców znakowanych izotopowo [12, 24, 51–53]. Ważnym obecnie zagadnieniem jest obecnie identyfikacja poszczególnych związków organicznych, które zwykle oznaczane są poprzez wskaźniki ogólne, np. ChZT, OWO, BZT₅, AOX. Mimo tego, że w zbiorze procedur analitycznych znajduje się 3500 metodyk oznaczania 4000 analitów w środowisku wodnym (wody powierzchniowe, wody do spożycia, ścieki) to można stwierdzić, że lista ta nie wyczerpuje składników, które w tym środowisku występują.

W 1998r opracowano i opublikowano koncepcję rozwoju współczesnej chemii w nawiązaniu do zasad zrównoważonego rozwoju. Autorami tej koncepcji po nazwą „Zielona chemia” są naukowcy z Amerykańskiego Towarzystwa Chemików. Główne zasady tej koncepcji polegają na minimalizacji:

- zużycia odczynników, w tym także rezygnacji z odczynników toksycznych,
- ilości usuwanych odpadów powstających w czasie analiz chemicznych,
- zużycia energii, nakładu pracy i czasu trwania analiz.

Ograniczanie zużycia odczynników w analizach chemicznych polega na wykorzystaniu tzw. technik bezpośrednich czyli z pominięciem wstępnego przygotowania próbki. Szersze zastosowanie dotyczy tu metod elektrochemicznych (jonoselektywne elektrody), spektroskopii absorpcji atomowej z termicznym wzbudzeniem w płomieniu grafitowym (GFAAS) lub ze wzbudzeniem w indukowanej plazmie (AES-ICP) oraz techniki analizy powierzchni takie, jak SEM, SIMS, ISS, XPS/ESCA, a także fluorescencja promieniowania rentgenowskiego. W kierunku minimalizacji ilości lub całkowitej eliminacji odczynników rozwijają się techniki bezropuszczalnikowe. Przykładem tych rozwiązań jest np. ekstrakcja płynem w stanie nadkrytycznym SFE, ekstrakcja membranowa czy ekstrakcja SPE z desorpcją termiczną. Duże znaczenie w kontekście ochrony środowiska ma minimalizacja ilości produktów odpadowych. Można to osiągnąć poprzez zmniejszenie ilości odczynników lub/i poprzez zmniejszenie wielkości próbek przeznaczanych do analizy. Wiąże się to z zastosowaniem detektorów o większej wykrywalności. Ponadto duże znaczenie ma analiza *in situ* oraz tzw. suche techniki. Rozwój tych technik polega na zastosowaniu mikrosystemów całkowitej analizy chemicznej (μ -TCAS, μ -TAS), wykorzystaniu technologii chipów i mikrochipów, immunoanaliza (immunoassays IMA, radioimmunoanaliza RIA, immunoanaliza enzymatyczna EIA). Z kolei minimalizację zużycia energii i czasu analizy zapewnia automatyzacja i techniki sprzężone, polegające na łączeniu etapu wstępnego z aparatem pomiarowym. Przykładem mogą być ekstraktory kompatybilne z układami chromatograficznymi i odpowiednimi detektorami [25].

Ważnym zagadnieniem współczesnej analityki chemicznej jest zastosowanie specjacji w analizach środowiska oraz w badaniach monitoringowych. Dotychczas badania te skupiały się głównie na specjacji metali ciężkich, natomiast obecnie analizą obejmuje się także inne pierwiastki i związki chemiczne. Wykazano bowiem, że ogólna zawartość różnych związków nie daje wyczerpujących informacji o stanie zanieczyszczenia środowiska, gdyż niezwykle istotna jest forma w jakiej występują te składniki. Wyodrębnienie form biodostępnych, związanych z materią organiczną trwale i form mobilnych, a także związków występujących w formie zaadsorbowanej, rozpuszczonej czy gazowej, pozwala na dokładniejszą ocenę i kontrolę stanu środowiska wodnego. Wśród kierunków rozwoju chemii sanitarnej należy wspomnieć także o wpro-

wadzeniu metod biologicznych do analiz środowiskowych. W bioanalizie wykorzystuje się materiał biologiczny do analiz chemicznych. Zastosowanie mają tutaj immunosorbenty, biokatalizatory oraz biokolumny. Ponadto wprowadzane są biotesty i bioczuJNIKI (enzymatyczne, bakteryjne, tkankowe). Przykładem może być zastosowanie małży, jako bioindykatora, w stacjach uzdatniania wody, co pozwala na wczesną informację dotyczącą zmiany składu jakościowego wody. Korzystając z różnorodnych metod obróbki statystycznej wyników analiz chemicznych, można prognozować zmiany jakości wody ujmowanej ze źródeł naturalnych, monitorować kinetykę przemian biochemicznych poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń w trakcie procesu oczyszczania wód i ścieków oraz modyfikować istniejące układy technologiczne.

5. Perspektywa rozwoju naukowego chemii sanitarnej w Polsce

W zakresie rozwoju wymienionych wyżej dyscyplin naukowych, poziom rozwoju chemii sanitarnej ma kluczowe znaczenie. Dla rozwoju badań naukowych konieczne jest stałe podnoszenie jakości pracy i precyzji badań w laboratoriach analitycznych, w tym także działań zmierzających do uzyskiwania akredytacji i certyfikacji. Na podstawie dostępnych informacji poniżej wymieniono priorytetowe zagadnienia w tym zakresie [1, 5, 12, 13, 43]:

- dalsze doskonalenie procedur badawczych z uwzględnieniem walidacji (precyzja, dokładność, granica wykrywalności, granica oznaczalności, niepewność pomiarów),
- projektowanie i budowa nowych urządzeń pomiarowo-kontrolnych,
- automatyzacja aparatury badawczej oraz układów sprzężonych,
- oznaczanie składników na poziomie śladowym, oznaczanie mikrozanieczyszczeń, produktów przemian metabolicznych, produktów pośrednich powstających w procesach uzdatniania wody oraz podczas oczyszczania ścieków,
- oznaczanie składników nowopowstających „*emerging contaminants*”,
- minimalizacja zużycia reagentów chemicznych i technik bezrozpuszczalnikowych,
- minimalizacja kosztów i energii oraz usuwanych materiałów odpadowych,

- rozszerzenie zakresu analiz specjacyjnych i zastosowanie ich w analizach środowiska wodnego oraz monitoringu,
- rozwój metod biologicznych w analityce: bioanalitka, bioczujniki i biotesty,
- analizy ciągłe w monitoringu środowiska,
- podniesienie jakości wyników analiz chemicznych,
- obróbka statystyczna wyników analiz chemicznych pozwalająca na prognozowanie zmian jakości środowiska wodnego,
- wprowadzenie obowiązku kontroli składników toksycznych w wodach i ściekach oraz osadach ściekowych.

Najważniejsze zadanie jakie stawia się przed chemią sanitarną to uzyskanie wiarygodnych informacji odnośnie stanu jakościowego wód i ścieków oraz określenie tendencji zmian zachodzących w środowisku. Informacje te są wykorzystywane w planowaniu przedsięwzięć w zakresie gospodarki wodno-ściekowej w regionach. Przedsięwzięcia te, to nie tylko infrastruktura wodociągowo-kanalizacyjna lecz także lokalizacja przedsiębiorstw przemysłowych i ocena ich oddziaływania na środowisko. Właściwe i oparte na wiarygodnych analizach projektowanie przedsięwzięć z zakresu gospodarki wodno-ściekowej pozwala na zachowanie zasad zrównoważonego rozwoju. W zakresie analiz środowiskowych ważne jest rozszerzenie metodyk oznaczanych składników, wprowadzenie nowych przepisów prawnych i obowiązku kontroli tych składników w środowisku. Konieczność rozszerzenia zakresu badań monitoringowych wynika także ze zobowiązań międzynarodowych w zakresie sieci europejskich. Zatem doskonalenie technik analitycznych i ich wdrażanie do systemu kontroli środowiska jest obecnie niezbędne i ważne w rozwoju gospodarczym kraju.

6. Podsumowanie

Chemia sanitarna jest elementem chemii środowiska opartym na podstawach chemii ogólnej, organicznej i instrumentalnej. Mimo, że nie stanowi oddzielnej dyscypliny nauki, jest nieoceniona w dostarczaniu informacji do rozwoju innych dziedzin i obszarów wiedzy, takich jak inżynieria, ochrona i kształtowanie środowiska, będących w obszarach nauk technicznych, przyrodniczych i rolniczych. Badania realizowane w ramach chemii sanitarnej prowadzone są w dwóch kierunkach. Pierw-

szym jest ocena jakościowa wód powierzchniowych i podziemnych, będących źródłem zaopatrzenia w wodę ludności, przemysłu i rolnictwa, monitorowanie środowiska wody oraz procesów jej uzdatniania. Drugi kierunek to charakterystyka ścieków wprowadzanych do kanalizacji, oczyszczalni ścieków oraz ścieków oczyszczonych wprowadzanych do odbiorników. Rozwój chemii sanitarnej polega na rozwoju technik analitycznych i procedur pozwalających na identyfikację nowych związków oraz oznaczanie jakościowo-ilościowe coraz większej ilości zanieczyszczeń występujących w środowisku wodnym, w tym mikrozanieczyszczeń występujących w ilościach submikrośladowych. Dotyczy to głównie mikrozanieczyszczeń organicznych, które wykazują działanie rakotwórcze, mutagenne i teratogenne na organizmy. Umożliwia to odpowiednie projektowanie procesów jednostkowych w oczyszczaniu wody i ścieków. Dlatego rozwój chemii sanitarnej w kierunku zapewnienia wiarygodnych wyników jest jednym z czynników rozwoju inżynierii środowiska. Ponadto jest wskazaniem i podstawą do opracowania nowych przepisów prawnych uwzględniających coraz to nowe identyfikowane związki chemiczne. Tendencje rozwoju chemii sanitarnej na świecie wskazują na ciągłe doskonalenie technik analitycznych oraz urządzeń pomiarowo-kontrolnych, opracowanie nowych procedur analitycznych oraz rozwijanie już istniejących.

Literatura

1. **Barcelo D.:** *Emerging pollutants in water analysis – Editorial*. Trends in Analytical Chemistry. 22(10) (2003).
2. **Bhandari A., Surampalli R.Y., Adams C.D., Champagne P., Ong S.K., Tyagi R.D., Zhang T.C.:** *Contaminants of Emerging Environmental Concern*, American Society of Civil Engineering, Reston, Virginia 2009.
3. **Bodzek M., Konieczny K.:** *Wykorzystanie technik membranowych w uzdatnianiu wody do picia, Cz. II. Usuwanie związków organicznych*, Technologia Wody. 2, 15–31 (2010).
4. **Bolong N., Ismail A.F., Salim M.R., Matsuura T.:** *A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal*, Desalination. 239(1–3), 229–246 (2009).
5. **Buszewski B., Kosobudzki P.:** *Fizykochemiczne metody analizy w chemii środowiska*, Wydawnictwo Uniwersytetu M. Kopernika, Toruń 2008.

6. **Czarnomski K., Izak E.:** *Trwale zanieczyszczenia organiczne w środowisku, Rozporządzenie Wspólnoty Europejskiej Nr 850/2004*. Materiały informacyjne, Ministerstwo Środowiska, Wydawca Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2008.
7. **Dojlido J., Dożańska W., Hermanowicz W., Koziarowski B., Zerbe J.:** *Fizyczno-chemiczne badanie wody ścieków*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2010.
8. **Dymaczewski Z. (red):** *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*. Wyd. PZiTS O/Poznań, Poznań 2011.
9. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/39/UE z dnia 12 sierpnia 2013 r. zmieniająca dyrektywy 2000/60/WE i 2008/105/WE w zakresie substancji priorytetowych w dziedzinie polityki wodnej (Dz. Urz. UE, 24.8.2013, L226/1)
10. **Dźygiel P., Wieczorek P.P.:** *Supported liquid membranes and their modifications: definition, classification, theory, stability, application and perspectives*. Chapter 3, 73–140 (in) *Liquid Membranes. Principles and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment*, Eds. V. Kislik, Elsevier 2010.
11. **Evangelou V.P.:** *Environmental soil and water chemistry, Principles and Applications*. J.Willey & Sons, Inc, New York 1998.
12. **Gdaniec-Pietryka M., Wolska L., Namieśnik J.:** *Physical speciation of polychlorinated biphenyls in the aquatic environment*. *Trends in Analytical Chemistry*. 22(10), 1005–1012 (2007).
13. **Grochowalski A.:** *Badania nad oznaczaniem polichlorowanych dibenzodioskyn, dibenzofuranów i bifenyli*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Monografia 272, Kraków 2000.
14. **Gromiec M.J.:** *Kierunki planowanych zmian dyrektywy osadowej w Unii Europejskiej*. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*. 4(2), 149–160 (2001).
15. **Grung M., Holth T.F., Jacobsen M.R.:** *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) metabolites in Atlantic cod exposed via water or diet to a synthetic produced water*. *Journal of Toxicology and Environmental Health, A*, 72(3–4), 254–265 (2009).
16. **Hermanowicz W.:** *Chemia sanitarna*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1984.
17. **Hulanicki A.:** *Współczesna chemia analityczna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
18. **Kiedrzyńska L., Papciak D., Granops M.:** *Chemia sanitarna*. Wydawnictwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa 2006.

19. **Kobayashi S., Kitadai M., Sameshima K., Ishii Y., Tanaka A.:** *A theoretical investigation of the conformation changing of dioxins in the binding site of dioxin receptor model; role of absolute hardness-electronegativity activity diagrams for biological activity.* Journal of Molecular Structure. 475(2–3), 203–217 (1999).
20. **Konieczka P., Namieśnik J., red.:** *Ocena i kontrola jakości wyników pomiarów analitycznych.* Wydawnictwo Naukowo-Techniczne WNT Warszawa 2007.
21. **Kookana R.S., Correll R.L., Miller R.B.:** *Pesticide impact Rating Index – A pesticide risk indicator for water quality.* Water, Air and Soil Pollution. 5(1–2), 45–65 (2005).
22. **Kowal A.L., Świdorska-Bróż M.:** *Oczyszczanie wody.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
23. **Kupryszewski G.:** *Wstęp do chemii organicznej.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
24. **Mechlińska A., Wolska L., Namieśnik J.:** *Isotope-labeled substances in analysis of persistent organic pollutants in environmental samples.* Trends in Analytical Chemistry. 29(8), 820–831 (2010).
25. **Namieśnik J.:** *Trendy w analityce i monitoringu środowiska,* dostępne na stronie www.pg.gda.pl
26. **Namieśnik J., Jamrógiewicz Z., Pilarczyk M., Torres L.:** *Przygotowanie próbek środowiskowych do analizy.* Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
27. **Nawrocki J. red.:** *Uzdatnianie wody. Procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne.* PWN, Warszawa 2010.
28. Obwieszczenie Ministra Środowiska w sprawie ogłoszenia aktualizacji Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (MP Nr 62 poz. 589, 2011).
29. Obwieszczenie Ministra Środowiska w sprawie wysokości stawek kar za przekroczenie warunków wprowadzania ścieków do wód lub do ziemi oraz za przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu, na rok 2012 (MP Nr 94, poz. 957, 2011)
30. Obwieszczenie Ministra Środowiska w sprawie wysokości stawek kar za przekroczenie warunków wprowadzania ścieków do wód lub do ziemi oraz za przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu na r. 2014 (MP poz. 821, 2013).
31. Rozporządzenie Ministra Budownictwa w sprawie sposobu realizacji obowiązku dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych (DZ.U. Nr 136 poz. 964, 2006).
32. Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w sprawie obszarów wiedzy, dziedzin nauki i sztuki oraz dyscyplin naukowych i artystycznych (Dz. U Nr 179, poz. 1065, 2011).

33. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych (Dz. U Nr 258, poz. 1550, 2011).
34. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz. U Nr 162, poz. 1008, 2008, Dz. U. Nr 257, poz. 1545, 2011).
35. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. Nr 137, poz. 924, 2010).
36. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (Dz. U. Nr 143, poz. 896, 2008).
37. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, których wprowadzenie w ściekach przemysłowych do urządzeń kanalizacyjnych wymaga uzyskania pozwolenia wodno prawnego (Dz. U. Nr 233 poz. 1988, 2005; Dz. U Nr 229 poz. 1538, 2009).
38. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. Nr 137, poz. 984, 2006 oraz Dz.U. Nr 27, poz. 169, 2009).
39. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie wykazu substancji priorytetowych w dziedzinie polityki wodnej (Dz.U. 254, poz. 1528, 2011)
40. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wody przeznaczone do spożycia (Dz.U. Nr 204, poz. 1728, 2002).
41. Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. Nr 61, poz. 417, 2007; Dz.U. Nr 72, poz. 466, 2010).
42. **Schechter A., Birnbaum L., Ryan J.J., Constable J.D.:** *Dioxins: An overview*. Environmental Research. 101(3), 419–428 (2006).
43. **Szczepaniak W.:** *Metody instrumentalne w analizie chemicznej*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
44. **Szymański K., Siebielska I.:** *Analityczne aspekty oceny jakości zanieczyszczonych wód podziemnych*. Ochrona Środowiska. 76(1), 15–18 (2000).
45. **Tadeo J.L., Sanchez-Brunete C., Albero B., Garcia-Valcarcel A.I., Perez R.A.:** *Analysis of emerging organic contaminants in environmental solid samples*. Central European Journal of Chemistry. 10(3), 480–520 (2012).
46. Ustawa o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (Dz. U. Nr 72 poz. 747, 2001).
47. Ustawa. Prawo wodne (Dz. U. Nr 115 poz. 1229, 2001).

48. **VanLoon G.W., Duffy S.J.:** *Chemia środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
49. **Wieczorek P.P.:** *Membrany ciekłe jako efektywna metoda wydzielenia, rozdzielania i oczyszczania mieszanin*. Przemysł Chemiczny. 86(10), 996–1000 (2007).
50. **Włodarczyk-Makula M.:** *Wybrane mikrozanieczyszczenia w środowisku wodnym i glebowym*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Vol. 104 (2013).
51. **Wolska L.:** *Miniaturised analytical procedure of determining polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in bottom sediments*. Journal of Chromatography A., 959(1–2), 173–180 (2002).
52. **Wolska L., Gdaniec-Pietryka M., Konieczka P., Namieśnik J.:** *Problems of PAH quantification by GC-MS method using isotope-labelled standards*. Talanta. 78(3), 730–735 (2009).
53. **Wolska L., Rawa-Adkonis M., Namieśnik J.:** *Determining PAHs and PCBs in aqueous samples: finding and evaluating sources of error*. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 382, 1389–1397 (2005).
54. **Wovk J.:** *Naturalna technologia wody*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne WNT, Warszawa 2012.
55. www.gios.gov.pl

Interdisciplinary Character of Sanitary Chemistry

Abstract

Sanitary chemistry is a component of environmental chemistry, based on the issues of general, organic and instrumental chemistry. The level of chemistry development is important for the development of other scientific disciplines such as: environmental engineering or planning, design and protection of the environment. These disciplines are mentioned in the areas of technical, natural and agricultural sciences. As part of the sanitary chemistry research in two directions: the study of water and wastewater quality are conducted. The studies include an assessment of water quality of surface- and groundwater, which are the source of water supply for: population, industry and agriculture, water treatment processes and water monitoring. The wastewater research are concerning the wastewater introduced into the sewage system, wastewater treatment plants and to the receivers. The development of sanitary chemistry involves the development of analytical techniques and procedures in order to determine a greater number of pollutants in water and wastewater and enhancing

the accuracy of compounds which has been already designated. Therefore, in framework of sanitary chemistry development following actions are performed:

- improvement of research procedures including the validation,
- design and construction of new measuring and control devices,
- automation of test equipment, including the coupled systems,
- determination of trace-level components: micro-pollutants, metabolic products, intermediate products, water and wastewater treatment,
- determination of "emerging contaminants",
- development of solvent-free techniques,
- minimization of cost, energy and the waste materials emission,
- the extension the scope of speciation analysis and their applications,
- development of biological methods in chemical analysis,
- introduction the continuous analysis into monitoring,
- improvement of the quality of chemical analysis results, statistical processing of chemical analysis, which allows on forecasting changes in water quality.

Trends in the sanitary chemistry development in the world indicate a continuous improvement of analytical techniques and measurement and control appliances, the elaboration of new analytical procedures and develop existing ones.

Słowa kluczowe:

chemia sanitarna, techniki analityczne, układy sprzężone, walidacja procedur badawczych, monitoring środowiska, mikrozanieczyszczenia, emerging contaminants, woda, ścieki, osady ściekowe, odpady

Keywords:

sanitary chemistry, analytical techniques, coupled systems, validation of research procedure, environmental monitoring, micropollutants, emerging contaminants, water, wastewater, sewage sludge, waste