

# Praktyczne aspekty nauczania chemii ogólnej na studiach ochrony środowiska

Renata Łyszczek

Zakład Chemii Ogólnej i Koordynacyjnej na Wydziale Chemii UMCS w Lublinie

## 1. Wprowadzenie

Ochrona środowiska jest interdyscyplinarnym kierunkiem studiów łączącym wiedzę z zakresu nauk matematyczno-przyrodniczych, nauk o Ziemi oraz nauk technicznych. Ponadto słuchacze tego kierunku powinni wykazywać się również znajomością uwarunkowań prawnych i ekonomicznych dotyczących ochrony środowiska. Odpowiednio dobrane elementy rozmaitych dziedzin nauki umożliwiają zrozumienie zarówno naturalnych przemian zachodzących w otaczającym nas środowisku przyrodniczym, jak i mechanizmów niekorzystnych zmian zachodzących w strukturze i funkcjonowaniu ekosystemów powodowanych działalnością człowieka. Bardzo istotny jest również przekaz, że przemiany zachodzące w środowisku przyrodniczym są ściśle związane z przepływem materii i energii między elementami biosfery (tj. atmosferą, hydrosferą i litosferą) [1, 2].

## 2. Znaczenie chemii w naukach o środowisku

Chemia jest gałęzią nauki, która zajmuje się substancjami i ich właściwościami, przemianami, jakim one ulegają, warunkami, które mają wpływ na kierunek, szybkość i zasięg tych przemian oraz stosunkami ilości masy i energii, biorących udział w przemianach. Przytoczoną tutaj definicję chemii można w pewnym sensie potraktować jako skrótowe streszczenie kursu chemii ogólnej. Chemia jest przedmiotem obszernym, który w obiegowej opinii jest trudny do zrozumienia i przyswojenia ze względu na abstrakcyjne treści oraz trudnym do wykładania. Omawianie i szczegółowe dogłębne wyjaśnianie podstawowych pojęć i prawideł chemii w świetle najnowszych osiągnięć na-

uki światowej powinno być prowadzone w oparciu o wiadomości zdobyte przez słuchacza w okresie szkolnym. Istotne jest zwrócenie szczególnej uwagi na poprawne pojmowanie stosowanego słownictwa zarówno w przypadku dotychczas stosowanych pojęć, jak i nowo wprowadzanych. Spektakularnymi tego przykładami są takie pojęcia jak: środowisko, środowisko naturalne, przyroda, natura, które w zależności od kontekstu nabierają określonego znaczenia. Wszystko to sprawia, że przedmiot chemii ogólna musi być realizowany na pierwszym roku studiów [3–8]. Zadaniem tego przedmiotu jest również rozbudzenie zainteresowania chemią jako nauką. Znajomość podstaw jest niezbędna do efektywnego pojmowania kolejnych przedmiotów chemicznych objętych programem studiów, które z kolei pozwolą na dalsze poszerzenie zasobu wiedzy chemicznej studentów i dzięki temu głębsze rozumienie aspektów chemii środowiskowej.

Dotychczasowe obserwacje wskazują, że efektywność nauczania jest tym większa, im większa jest świadomość, że zdobywana wiedza będzie przydatna zarówno w dalszym procesie kształcenia, jak i w przyszłej pracy zawodowej. Istotne jest również, aby studenci posiadli umiejętność łączenia wiedzy z zakresu chemii ogólnej nie tylko z współczesnymi praktycznymi problemami związanymi z zagadnieniami ochrony środowiska, ale również potrafili wykorzystać ją do zrozumienia aktualnych zagadnień związanych z nowymi materiałami i procesami technologicznymi [3].

Kierunek studiów ochrona środowiska może być podejmowany przez osoby prezentujące zróżnicowany poziom wiedzy chemicznej, a więc osoby, które zdały chemię na maturze i przez osoby, których wiedza chemiczna jest znikoma. Wynika stąd konieczność wyrównania poziomu wiedzy chemicznej wśród słuchaczy pierwszego roku przez odpowiednie przekazanie wiedzy z zakresu chemii ogólnej. Należy tutaj wspomnieć o konieczności potraktowania niektórych tematów na wyższym poziomie od spotykanego w typowych podręcznikach chemii ogólnej. Spektakularnym tego przykładem są procesy fotochemiczne przebiegające w biosferze.

### **3. Przykłady wiedzy z chemii ogólnej na kierunku ochrony środowiska**

Najbardziej efektywne kształcenie ma miejsce, gdy kurs chemii ogólnej jest realizowany przez wykłady, których treść jest wspomagana zajęciami laboratoryjnymi oraz konwersatoryjnymi. Tematyka tych zajęć powinna obejmować takie zagadnienia jak: materia, pierwiastki i ich związki chemiczne;

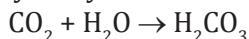
postaci występowania pierwiastków, podstawowe prawa i pojęcia chemiczne; podział i przykłady reakcji chemicznych, budowa atomu, układ okresowy pierwiastków; rodzaje wiązań chemicznych; podstawy obliczeń chemicznych, rodzaje i właściwości roztworów; kinetyka i równowaga chemiczna oraz równowagi w roztworach. Przedstawiony powyżej w skróconym ujęciu zakres materiału realizowanego na kierunku Ochrona Środowiska opiera się na analizie sylabusów przedmiotu chemia ogólna (podstawy chemii) realizowanych na różnych wyższych uczelniach. W opinii Autorki taki dobór materiału sprzyja zrozumieniu naturalnych przemian chemicznych w środowisku przyrodniczym, jak również wpływu działalności człowieka na występowanie, specjację (formę występowania) i stężenia pierwiastków uczestniczących w tych przemianach [3, 9, 10].

Przykładowym terminem, z którym studenci spotykają się na pierwszych zajęciach jest materia. Istotne jest tutaj zapoznanie słuchaczy z klasyfikacją, występowaniem, metodami rozdziału oraz jej przepływem w środowisku przyrodniczym (cykle obiegu). Pierwiastki występujące w biosferze wykazują duży stopień zróżnicowania specjacji (formy występowania). Dokonując wyboru właściwego przykładu (np. jony chromu  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Cr}^{+6}$ ) można zademonstrować wpływ czynników determinujących formę występowania oraz zróżnicowaną toksyczność określonej postaci pierwiastka. Dobrym sposobem zaznajomienia się studentów z pojęciem pierwiastka jest np. demonstracja pierwiastków chemicznych na makiecie układu okresowego. Poprzez bezpośredni kontakt z próbkami pierwiastków studenci mają możliwość naocznego obserwowania różnic występujących np. pomiędzy pierwiastkami metalicznymi i niemetalicznymi. Zwrócenie uwagi na sposób przechowywania prezentowanych pierwiastków pozwoli na zademonstrowanie zróżnicowania ich aktywności chemicznej w stanie wolnym [1–3].

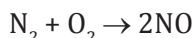
Kolejnym terminem, którego znaczenie należy wyjaśnić na początku zajęć z chemii ogólnej jest pojęcie związku chemicznego. Wiedza dotycząca jego właściwości jest podstawą do zrozumienia reakcji chemicznych zachodzących w środowisku przyrodniczym. Ponadto dobra znajomość właściwości połączeń chemicznych umożliwia *a priori* przewidzenie skutków działalności człowieka wynikających z emisji tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ) i siarki ( $\text{SO}_x$ ).

Szczególną grupą związków nieorganicznych, która odgrywa znaczącą rolę w chemii środowiskowej są tlenki, występujące we wszystkich sferach ziemskich. Znajomość ich charakteru kwasowo-zasadowego (zasadowe, np.  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ; kwasowe, np.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ; obojętne, np.  $\text{NO}$ ), pozwala na przewidzenie powstania produktów oddziaływania tych tlenków z wodą [3–8]. Problem zakwaszania środowiska przyrodniczego nabiera specyficznej ważno-

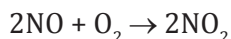
ści w przypadku rozpatrywania kwasowości wód podziemnych, powierzchniowych i pochodzących z opadu atmosferycznego. Ostatnie z wymienionych w rejonach, gdzie działalność człowieka nie wywiera znaczącego wpływu na środowisko zawierają w swoim składzie głównie słaby kwas węglowy ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), tworzący się w wyniku rozpuszczania się w wodzie obecnego w powietrzu atmosferycznym tlenku węgla(IV). W rezultacie wartość wskaźnika kwasowości pH wód opadowych wynosi około 5,7 [1, 2, 11–14].



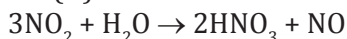
W składzie powietrza atmosferycznego mogą również występować tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ ) i siarki ( $\text{SO}_x$ ), które po rozpuszczeniu w wodzie tworzą znacznie silniejsze kwasy niż kwas węglowy ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), będący naturalnym składnikiem wód opadowych. Obecne w atmosferze tlenki azotu i siarki są zazwyczaj traktowane jako zanieczyszczenia, które wskutek konwersji tworzą silne kwasy mineralne, generując zjawisko kwaśnego opadu atmosferycznego. Głównym ich źródłem są zakłady przemysłowe (np. elektrownie węglowe, koksownie, huty), spalanie węgla i transport samochodowy. Obecny w paliwach kopalnych azot (N), jako heteroatom i powstający wskutek dysocjacji termicznej diazotu ( $\text{N}_2$ ) występującego w atmosferze azot atomowy (N) reaguje szybko z ditlenem ( $\text{O}_2$ ) z utworzeniem tlenku azotu(II), NO. Istotnym źródłem tego tlenku w atmosferze są zachodzące w niej wyładowania elektryczne:



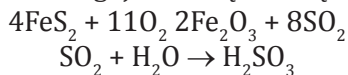
Ponadto może on stanowić produkt fotokatalitycznego rozkładu tlenku azotu(I)  $\text{N}_2\text{O}$  uwalnianego w znacznych ilościach z gleby. Bezbarwny tlenek azotu(II) NO podlega w atmosferze utlenieniu do tlenku azotu(IV)  $\text{NO}_2$ :



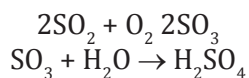
Z kolei oddziaływanie tego tlenku z wodą, prowadzi do powstania kwasu azotowego(V) i tlenku azotu(II):



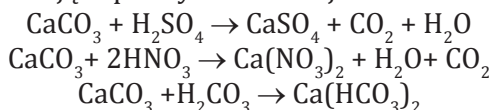
W trakcie spalania węgla kopalnych zawarte w niej piryty ( $\text{FeS}$  i  $\text{FeS}_2$ ) oraz siarka elementarna (S) ulegają utlenieniu z jednoczesnym uwolnieniem tlenku siarki(IV). Tlenek ten szybko reaguje z wodą tworząc słaby kwas siarkowy(IV):



Tlenek siarki(IV) może reagować również z tlenem atmosferycznym ( $\text{O}_2$ ), tworząc tlenek siarki(VI), który łatwo rozpuszcza się w wodzie tworząc kwas siarkowy(VI).



Znajomość właściwości kwasów, pozwala na przewidzenie reakcji chemicznych zachodzących z ich udziałem oraz negatywnych skutków obecności produktów tych przemian. Kwasy te mogą oddziaływać w szerokim zakresie zarówno ze składnikami przyrody ożywionej, jak też nieożywionej, a także reagować z wytworami ludzkiej pracy. Ich obecność w opadzie atmosferycznym skutkuje destrukcją zaprawy murarskiej:



W pierwszym przypadku dochodzi do destrukcji zaprawy na drodze fizycznej, ponieważ objętość komórki elementarnej  $\text{CaSO}_4$  jest większa o 10% od objętości wykazywanej przez  $\text{CaCO}_3$ . W drugim i trzecim przypadku destrukcja polega na stopniowym wzroście porowatości zaprawy powodowanej usuwaniem łatwo rozpuszczającego się w wodzie odpowiednio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  i  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Kwasy zawarte w opadzie atmosferycznym ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) oddziałując z pomnikami kultury wykonanymi z piaskowca lub marmuru ługują z nich łatwo rozpuszczalne składniki i deformują ich pierwotny kształt. Spektakularnym tego przykładem demonstrowanym często w podręcznikach chemii środowiska są rzeźby aniołów stojące przed wejściem do katedry w Kolonii [3, 6–8, 12].

Występujący w opadzie atmosferycznym kwas siarkowy(VI) wiąże występujące w glebie jony  $\text{Ca}_{2+}$ , tworząc stosunkowo trudno rozpuszczalny siarczan(VI) wapnia,  $\text{CaSO}_4$ . W konsekwencji jony  $\text{Ca}_{2+}$  nie mogą być pobierane przez rośliny, a ich niedobór powinien być uzupełniany.

Kolejną grupą połączeń odgrywających kluczową rolę w chemii środowiska są sole nieorganiczne. W trakcie kursu chemii ogólnej studenci są zapoznawani z budową, podziałem (obojętne, wodorosole, hydroksysole), metodami otrzymywania i ogólnymi właściwościami soli (sole trudno- i łatwo rozpuszczalne) oraz dysocjacją i hydrolizą, którym one podlegają. Związki te charakteryzują się dużą różnorodnością w przyrodzie, stanowiąc składniki skał tworzących skorupę ziemską. Łatwo rozpuszczalne sole, takie jak: chlorki ( $\text{Cl}^-$ ), siarczany(VI) ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) oraz wodorowęglany ( $\text{HCO}_3^-$ ) sodu (Na), potasu (K), wapnia (Ca) i magnezu (Mg) stanowią ponad 90% substancji rozpuszczonych w typowych wodach naturalnych. Do składników podrzędnych należą azotany(III i V), których niemal wszystkie sole są bardzo dobrze rozpuszczalne w wodzie. Azotany(V) i azotany(III) powstają w wyniku utleniania azotu atmosferycznego ( $\text{N}_2$ ) związanego wcześniej przez żywe organizmy. W wyniku rozkładu białek powstaje amoniak, który jest dalej utleniany do azotanów(III, V) (reakcja nitryfikacji).

Ponadto w wodach tych mogą również występować aniony innych soli dobrze rozpuszczalnych w wodzie np. diwodorofosforany(V), siarczany(IV), krzemiany oraz kationy: żelaza(II i III), amonu oraz kationy innych metali pełniących rolę mikroelementów.

Rozpatrując obecność w wodzie wodorowęglanów wapnia i magnezu należy zwrócić uwagę na tzw. twardość wody, stanowiącą istotną właściwość zarówno z punktu widzenia technologicznego, jak i zdrowotnego [1, 2, 11–14]. Obecne w wyniku przebiegu naturalnych procesów zachodzących w wodzie jony chloru ( $\text{Cl}^-$ ) i siarczanu(VI) oraz pochodzące ze źródeł antropogenicznych nie podlegają sorpcji w środowisku wód podziemnych i są wskaźnikiem ich zanieczyszczenia.

Podstawowymi składnikami nawozów sztucznych, które wzbogacają glebę w przyswajalne formy biogenych pierwiastków są również ich sole. Przykładowo głównym składnikiem nawozów azotowych jest azotan(V) amonu, które niekiedy wzbogacane są jonami wapnia ( $\text{Ca}_{2+}$ ) i magnezu ( $\text{Mg}_{2+}$ ), które są dodawane w formie węglanów. Z kolei wprowadzanie do azotanu(V) amonu takich soli jak: siarczan(VI) amonu czy siarczan(VI) wapnia wzbogaca nawozy w siarkę (S). Różne sole znajdują również praktyczne zastosowanie w zakładach uzdatniania wody, w procesach koagulacji, zawiesin, koloidalnych zanieczyszczeń organicznych oraz częściowo rozpuszczonych związków. Następną ważną grupą związków chemicznych, biorących udział w mobilizacji i migracji pierwiastków w biosferze są kwasy. Występują one głównie w trakcie erupcji wulkanów: ditlenek siarki ( $\text{SO}_2$ ), chlorowódor ( $\text{HCl}$ ) i siarczek wodoru ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Oprócz wspomnianych wcześniej kwasów: węglowego, siarkowego(IV), siarkowego(VI) czy też azotowego(V), kwasowość środowiska glebowego określają także słabe kwasy humusowe oraz inne kwasy organiczne będące produktami pośrednimi rozkładu martwej materii organicznej. Przytoczone powyżej niektóre rodzaje połączeń nieorganicznych należy traktować jedynie jako przykłady możliwych form (specjacji), w jakich mogą występować pierwiastki chemiczne w środowisku. Zazwyczaj stanowią one produkt przemian geochemicznych zachodzących w przyrodzie nieożywionej lub są wynikiem przebiegu procesów biochemicznych materii organicznej. Celem prezentacji przytoczonych przykładów było uświadomienie konieczności zapoznania słuchaczy na kursie chemii ogólnej z przyjętą klasyfikacją związków i z podstawowymi metodami ich syntezy oraz właściwościami [1, 2, 11–15].

Procesy, które dominują w środowisku przyrodniczym to procesy chemiczne, stąd też przybliżenie słuchaczom wiedzy dotyczącej typów reakcji chemicznych kinetyki ich przebiegu oraz czynników wpływających na ich

przebieg. Pozwoli to na zrozumienie przemian zachodzących w środowisku, przebieg procesów życiowych oraz sposobu funkcjonowania żywych organizmów. Konieczne wydaje się także zapoznanie słuchaczy z podstawowymi procesami chemicznymi realizowanymi w przemyśle, wskazując jednocześnie na powstające w trakcie ich realizacji zanieczyszczenia oraz sposoby ich likwidacji. Zrozumienie tych złożonych problemów ułatwi niewątpliwie prezentacja filozofii zrównoważonego rozwoju i dwunastu zasad P.T. Anastasa przy odpowiednim doborze przykładów [2, 3,6–9, 16, 17].

Studenci ochrony środowiska z kursu chemii ogólnej powinni również wynieść wiedzę dotyczącą oddziaływań słabych, które występują pomiędzy cząsteczkami chemicznymi i wywierają decydujący wpływ na ich właściwości fizyczne i chemiczne. Składają się na nie oddziaływania o energii około 10-krotnie mniejszej niż wiązania kowalencyjne, wiązania wodorowe oraz siły van der Waalsa. Występowanie wiązań wodorowych. jest charakterystyczne dla związków zawierających silnie elektroujemny pierwiastek (np. O, N czy Cl) powiązany z atomem wodoru (H). Tego typu oddziaływania występują pomiędzy cząsteczkami wody i są one odpowiedzialne za specyficzne właściwości wody, jak np. większa wartość temperatury wrzenia wody w porównaniu z analogami z tego samego okresu. Każda cząsteczka wody może brać udział w czterech wiązaniach wodorowych; dwukrotnie, jako donor protonów i dwukrotnie w charakterze akceptora protonów. Z kolei oddziaływania typu sił van der Waalsa, na które składają się siły Londona, Keesoma i Debye'a odgrywają znaczną rolę w przypadku węglowodorów, w których jest brak polarnych grup funkcyjnych. Siły te są odpowiedzialne m.in. za podwyższenie temperatury wrzenia homologów alkanów [3, 6–8]. Szeroko omawianym działem chemii ogólnej są równowagi w roztworach wodnych. Woda jest jednym z najistotniejszych składników mineralnych jako jeden z trzech podstawowych elementów biosfery, którego obecność zapewnia życie organiczne w biosferze. Ponadto osobliwe właściwości fizykochemiczne sprawiają, że woda występuje w dużych ilościach w organizmach żywych, uczestnicząc w przemianach metabolicznych. Dlatego też znajomość procesów zachodzących z jej udziałem stanowi podstawę rozumienia chemii środowiska.

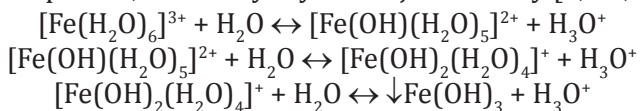
Podstawowymi pojęciami omawianymi w trakcie zajęć z chemii ogólnej związanymi z wodą są: roztwory, sposoby wyrażania stężeń, a także pojęcia kwasów i zasad w ujęciu różnych teorii. Ważkimi tematami związanymi z zagadnieniami równowag w roztworze są procesy dysocjacji, pojęcie pH w odniesieniu do słabych i mocnych elektrolitów oraz znaczenie jako wskaźnika kwasowości, hydroliza soli oraz rola i właściwości roztworów buforowych [3–8, 11, 12, 14]. Problematyka ta jest szczegółowo omawiana głównie



na zajęciach konwersatoryjnych oraz laboratoryjnych. Dla wielu słuchaczy są to niekiedy całkowicie nowe zagadnienia i stąd też ich zrozumienie sprawia często wiele trudności. Wcześniej wprowadzona teoria kwasów i zasad Brønsteda pozwala na wyjaśnienie teoretycznych mechanizmów działania tego typu roztworów, zaś ćwiczenia laboratoryjne uczą, w jaki sposób je sporządzić. W środowisku przyrodniczym wysoka zasadowość wody wynika głównie z obecności rozpuszczalnych wodorowęglanów, co sprawia, że może ona pełnić funkcję roztworu buforowego, który neutralizuje kwaśny opad atmosferyczny [1, 2, 11–16, 22].

Jednym z podstawowych zadań związanych z ochroną środowiska jest monitoring wód polegający na kontrolowaniu jakości wód pod względem właściwości fizykochemicznych. Badania odczynu wody należą do podstawowych analiz wykonywanych w trakcie oceny czystości wody. Określany jest na podstawie potencjometrycznego pomiaru stężenia jonów wodoru [H<sup>+</sup>]. Zagadnienia związane z rolą i sposobami wyznaczenia pH są szeroko omawiane w trakcie kursu chemii ogólnej oraz podczas zajęć laboratoryjnych, gdzie słuchacze nabywają praktycznych umiejętności posługiwania się pehametrem.

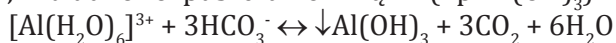
Kwasowość wód wynika nie tylko z obecności w niej kwasów o zróżnicowanej mocy, ale również w wyniku obecności w nich jonów metali (np. Fe<sub>3+</sub>, Cd<sub>2+</sub>, Al<sub>3+</sub>), które ulegają reakcjom hydrolizy. Zhydratowane kationy metali o dużym ładunku jonu i małym promieniu jonowym zachowują się jak kwasy Brønsteda, będąc donorami protonów dla cząsteczek wody (zasada Brønsteda), co sprawia, że i odczyn tych soli jest kwaśny [3, 11, 12, 14]:



Procesy hydrolizy w zależności od odczynu środowiska mogą zachodzić w różnym stopniu, wpływając znacząco zarówno na odczyn wody, jak i jej jakość. Przykładowo wysoka kwasowość wód podziemnych może wskazywać na obecność metali ciężkich (toksycznych). Innym praktycznym aspektem wykorzystania procesu hydrolizy jest uzdatnianie wody. Dodawanie koagulantów chemicznych na różnych etapach procesu uzdatniania wody przyspiesza proces osadzania małych cząstek stanowiących jej potencjalne zanieczyszczenie chemiczne. Do najczęściej stosowanych koagulantów należą m.in. siarczan(VI) glinu Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> oraz chlorek żelaza(III) FeCl<sub>3</sub>. Stopień hydrolizy tych związków w znacznym stopniu zależy od właściwości roztworu, w którym występują zasady Brønsteda, będące akceptorami protonów powstających w procesie hydrolizy. Obecność tych zasad przesuwa położenie



stanu równowagi w kierunku przekształcania wszystkich dodatkowych jonów, np. glinu, w trudno rozpuszczalne związki (np.  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ):



Zazwyczaj ćwiczenia laboratoryjne z chemii ogólnej to pierwsze praktyczne zajęcia, podczas których studenci wykonują samodzielnie konkretne czynności laboratoryjne. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji i uzyskanych wyników pomiarów sformułowane są wnioski. Umożliwiają zdobywanie niezbędnych umiejętności w pracy laboratoryjnej wykonywanej w trakcie wszystkich etapów kształcenia oraz podczas przyszłej pracy zawodowej związanej z ochroną środowiska. Stanowią także ilustrację omawianych zagadnień teoretycznych. Z wieloletniej praktyki nauczyciela akademickiego prowadzącego ćwiczenia laboratoryjne z chemii ogólnej wynika, iż studenci na pierwszych zajęciach czują się niekiedy zagubieni. Wynika to zarówno z braku praktyki w posługiwaniu się podstawowym sprzętem laboratoryjnym (wagi, wirówki, pehametry, automatyczne biurety itp.), w bezpiecznym stosowaniu odczynników chemicznych, a szczególnie mocnych kwasów. Pewien stres wynika także z konieczności bezwzględного przestrzegania specyficznego regulaminu pracowni. Jest to konieczne, bowiem pozwala na utrwalenie wśród słuchaczy nawyku ostrożności w postępowaniu i potrzebę przewidywania potencjalnych zagrożeń wynikających z posługiwania się odczynnikami chemicznymi oraz prowadzonymi eksperymentami chemicznymi. Ćwiczenia laboratoryjne wykonywane są często w grupach dwuosobowych, co wymusza na studentach zdobycie umiejętności pracy zespołowej oraz odpowiedniego podziału obowiązków [4, 5, 18, 23].

#### 4. Podsumowanie

Powyżej przedstawiono jedynie kilka przykładów praktycznych aspektów nauczania chemii ogólnej w odniesieniu do zagadnień ochrony środowiska. Chemia ogólna ma charakter przedmiotu wprowadzającego i stanowi swoisty wstęp do kursowych przedmiotów chemicznych, jak również i tych, gdzie znajomość podstaw chemii jest niezbędna do zrozumienia treści przedmiotu, np. chemia środowiska, chemia wody czy sozologia. Wprowadza i wyjaśnia podstawowe pojęcia i prawa chemiczne, które pozwalają zrozumieć naturalne i wywołane przez rozwój cywilizacji przemiany chemiczne. Uczy języka chemii, który pozwala opisywać oraz interpretować obserwowane przemiany. Dostarcza wiedzy, która umożliwia przewidywanie skutków wzajemnego oddziaływania na siebie pierwiastków i związków chemicznych. Zajęcia labo-

ratoryjne z chemii ogólnej są niezbędnym elementem, który łączy praktyczną wiedzę z umiejętnością prawidłowego sposobu przeprowadzania eksperymentów chemicznych oraz uczy efektywnego i bezpiecznego organizowania pracy laboratoryjnej.

## 5. Bibliografia

1. VanLoon G.W., Duffy S.J.: Chemia środowiska. PWN, Warszawa 2007.
2. O'Neill P.: Chemia środowiska. PWN, Warszawa-Wrocław 1997.
3. Jones L., Atkins P.: Chemia ogólna. Cząsteczki, materia, reakcje. PWN, Warszawa 2004.
4. Chang R.: Chemistry. McGraw-Hill Higher Education, New York 2002.
5. Silberberg M.S.: Chemistry. The Molecular Nature of Matter and Change. McGraw-Hill Higher Education, New York 2003.
6. Pajdowski L.: Chemia ogólna. PWN, Warszawa 1977.
7. Čipera J.: Podstawy chemii ogólnej. Warszawa 1992.
8. Pauling L., Pauling P.: Chemia. PWN, Warszawa 1983.
9. Laredo T.: Journal of Chemical Education 2013; 90: 1151–1154.
10. Hopkins T.A., Samide M.: Journal of Chemical Education 2013; 90: 1162–1166.
11. Macioszczyk A., Dobrzyński D.: Hydrogeochemia. Strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. PWN, Warszawa 2002.
12. Gomółka E., Szaynok A.: Chemia wody i powietrza. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
13. Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa 2013.
14. Stan Środowiska w Polsce. Raport 2014. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2014.
15. Kowal A.L. (red.): Odnowa wody. Podstawy teoretyczne procesów. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1996.
16. Pazdro K.M., Rola-Noworyta A.: Chemia. Repetytorium dla przyszłych maturzystów i studentów. Oficyna Edukacyjna Krzysztof Pazdro, Warszawa 2013.
17. Lautenschläger K.-H., Schröter W., Wanninger A.: Nowoczesne kompendium wiedzy. PWN, Warszawa 2007.
18. Kurpiel-Gorgol R., Kula A., Rzączyńska Z.: Proste obliczenia chemiczne. Repetytorium dla studentów ochrony środowiska. Wydawnictwo UMCS, Lublin 2010.
19. Pazdro K.M., Rola-Noworyta A.: Akademicki zbiór zadań z chemii ogólnej. Oficyna Edukacyjna Krzysztof Pazdro, Warszawa 2013.
20. Galus Z.: Ćwiczenia rachunkowe z chemii analitycznej. PWN, Warszawa 1969.
21. Śliwa A.: Obliczenia chemiczne, zbiór zadań z chemii ogólnej i analitycznej nieorganicznej. PWN, Warszawa 1987.
22. Chełmicki W.: Woda, zasoby, degradacja, ochrona. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
23. Kozak D., Chmiel B., Niećko J.: Ochrona środowiska, Podręcznik do ćwiczeń terenowych. Chemiczne aspekty ochrony środowiska. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 1999.