



Jak w laboratorium można oznaczyć twardość wody?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Gra edukacyjna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

A warm, dimly lit scene featuring a brass teapot pouring water into a clear glass pitcher. The teapot has a polished, reflective surface. The glass pitcher is partially filled with water. In the background, there are white ceramic teacups and a small wooden frog figurine on a wooden surface. A dark semi-transparent box with white text is overlaid on the image.

Jak w laboratorium można oznaczyć twardość wody?

Źródło: dostępny w internecie: www.pixabay.com, domena publiczna.

Czy zdarzyło Ci się kiedyś zauważyć na dnie czajnika kamień? Czy po wlaniu wody z kranu do szklanki widzisz na jej powierzchni osad, a po jej skosztowaniu wyczuwasz nieprzyjemny posmak? Jeżeli odpowiedź na te pytania jest twierdząca, oznacza to, że najprawdopodobniej używasz twardej wody. W celu sprawdzenia twardości wody, należy oddać jej próbkę do laboratorium. W jaki sposób w laboratorium można oznaczać twardość wody? Przeczytaj poniższy materiał.

Twoje cele

- Wyjaśnisz, co powoduje twardość wody.
- Wymienisz rodzaje twardości wody.
- Zaproponujesz, jak w laboratorium można oznaczyć twardość wody.

Przeczytaj

Twardość wody – rodzaje

Twardość wody związana jest w głównej mierze z występowaniem w wodzie soli wapnia i magnezu – twardość wapniowa (T_{Ca}) i magnezowa (T_{Mg}). Wyróżnia się także twardość węglanową (przemijającą) oraz twardość niewęglanową (trwałą). Twardość węglanowa ($T_{węglanowa}$) jest spowodowana występowaniem w wodzie wodorowęglanów wapnia i magnezu. Twardość niewęglanowa ($T_{niewęglanowa}$) związana jest z występowaniem w wodzie innych soli wapnia i magnezu, m.in. chlorków, azotanów, siarczanów.

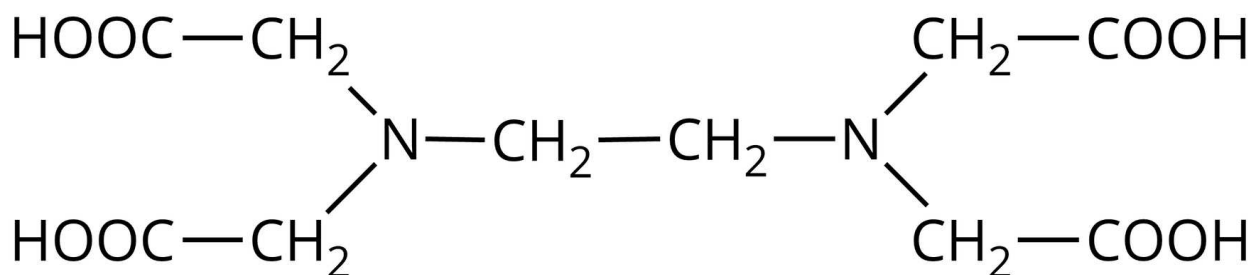
Ogólną twardość wody T_{og} można zdefiniować na dwa sposoby.

$$T_{og} = T_{Ca} + T_{Mg}$$

$$T_{og} = T_{węglanowa} + T_{niewęglanowa}$$

Laboratoryjne oznaczanie twardości wody

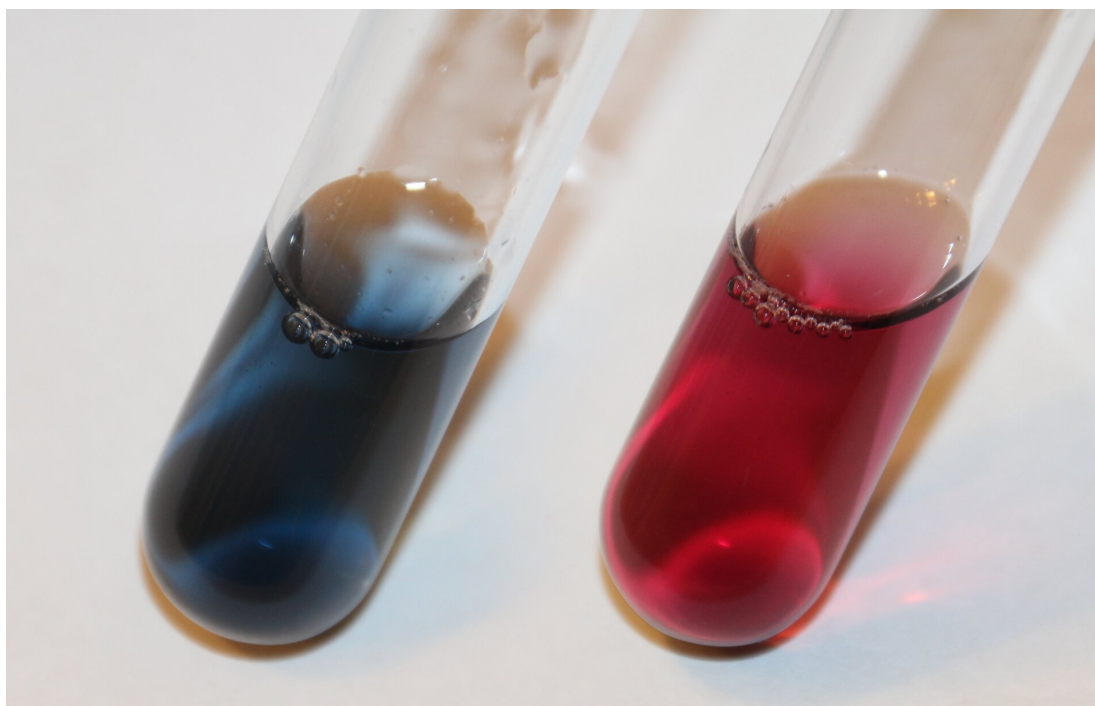
Laboratoryjnie twardość wody można oznaczyć stosując miareczkowanie roztworem EDTA o znanym stężeniu. EDTA to kwas etylenodiaminotetraoctowy, nazywany także kwasem wersenowym. Związek ten tworzy z większością kationów, m.in. z kationami Ca^{2+} i Mg^{2+} , kompleksy w stosunku 1 : 1.



Struktura chemiczna EDTA (kwas wersenowy).

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Kompleksy EDTA z jonami wapnia i magnezu są bezbarwne, dlatego miareczkowanie prowadzi się w obecności wskaźnika. Wskaźnik tworzy z oznaczanymi w próbce wody jonami barwne kompleksy. W oznaczaniu kationów wapnia i magnezu jako wskaźnik stosuje się czerń eriochromową T. Przy $\text{pH} \approx 10$, czerń eriochromowa T tworzy z jonami Ca^{2+} i Mg^{2+} kompleksy o barwie czerwonej. Kompleksy wskaźnika z oznaczonymi jonami są mniej trwałe niż kompleksy z EDTA. W trakcie **miareczkowania** badanej próbki roztworem EDTA, kationy wapnia i magnezu łączą się z EDTA w trwałe kompleksy. Po skompleksowaniu przez EDTA wszystkich jonów wapnia i magnezu, czerń eriochromowa T zostaje uwolniona – przyjmuje niebieską barwę. Stąd po skompleksowaniu przez EDTA wszystkich jonów Ca^{2+} i Mg^{2+} obserwuje się zmianę barwy z czerwonej na niebieską. Znając objętość zużytego roztworu EDTA, można wyznaczyć twardość ogólną wody.



Roztwór czerni eriochromowej T w $\text{pH} \approx 10$ (po lewej) oraz roztwór kompleksu czerni eriochromowej T z jonami wapnia i magnezu (po prawej).

Źródło: LHcheM, licencja: CC BY-SA 3.0.

Oznaczanie twardości ogólnej

Wykonanie:

1. Napełnij biuretę roztworem kwasu wersenowego o stężeniu $C_{\text{EDTA}} = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ (do kreski oznaczonej 0 cm^3).
2. Do trzech kolb stożkowych o pojemności 250 cm^3 odmierzą cylindrem miarowym 100 cm^3 badanej wody.

3. Do każdej kolby dodaj 5 cm³ buforu amonowego (do uzyskania pH ≈ 10), a następnie szczyptę wskaźnika - czerni eriochromowej T (roztwory zabarwią się na czerwono).
4. Badane roztwory wody miareczkuj roztworem kwasu wersenowego dodając go kroplami z biurety (do roztworów w kolbach stożkowych). Po każdym dodaniu kropli EDTA, zawartość kolby należy zamieszać.
5. Miareczkowanie prowadź do zmiany barwy roztworu z czerwonej na niebieską.
6. Na biurecie odczytaj objętość użytego roztworu kwasu wersenowego z dokładnością do 0,05 cm³. Wynik odpowiada sumarycznej zawartości jonów wapnia i magnezu w badanej próbce wody.

Zestaw do miareczkowania

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Obliczanie twardości ogólnej wody

Twardość ogólną badanej wody można obliczyć ze wzoru:

$$T_{\text{og}} = \frac{V \cdot C \cdot 1000}{V_{\text{pr}}}$$

gdzie:

T_{og} – twardość ogólna wody $\left[\frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3} \right]$

V – średnia wartość objętości roztworu EDTA uzyskana z trzech miareczkowań [cm³]

C – stężenie roztworu EDTA użytego do miareczkowania $\left[\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \right]$

V_{pr} – objętość badanej wody użytej do oznaczenia twardości [cm³]

Ciekawostka

Twardość ogólna wody równa jest zawartości jonów wapnia i magnezu w badanej próbce. Ze względu na to, że kwas wersenowy tworzy z jonami kompleksy w stosunku 1 : 1, oznacza to, że liczba moli EDTA równa się liczbie moli jonów $n_{\text{EDTA}} = n_{\text{jonów}}$. Liczbę moli EDTA można wyznaczyć z iloczynu użytej w miareczkowaniu objętości kwasu wersenowego oraz stężenia EDTA $n_{\text{EDTA}} = V_{\text{EDTA}} \cdot C_{\text{EDTA}}$. W celu wyznaczenia stężenia oznaczanych jonów należy liczbę moli jonów (czyli liczbę moli EDTA) podzielić przez objętość badanej próbki.

$$C_{\text{jonów}} = \frac{V_{\text{EDTA}} [\text{dm}^3] \cdot C_{\text{EDTA}} \left[\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \right]}{V_{\text{pr}} [\text{dm}^3]} = \frac{V_{\text{EDTA}} \cdot C_{\text{EDTA}}}{V_{\text{pr}}} \left[\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \right]$$

Stężenie oznaczanych jonów to twardość ogólna wody T_{og} . Jednostką twardości wody jest $\frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$. Aby uzyskać tę jednostkę należy całe równanie pomnożyć przez 1000. Skąd ta

wartość? Otóż, 1 mol to 1000 mmoli.

Z tych rozważań wynika, że końcowy wzór na twardość ogólną wody ma postać:

$$T_{\text{og}} = \frac{V_{\text{EDTA}} \cdot C_{\text{EDTA}} \cdot 1000}{V_{\text{pr}}} \left[\frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3} \right]$$

Oznaczanie ogólnej twardości wody oligoceńskiej, wodociągowej oraz przefiltrowanej o objętości 100 cm³

Przykład 1

Oblicz twardość ogólną wody T_{og} , jeżeli średnia wartość objętości 0,02 $\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ roztworu EDTA uzyskana z trzech miareczkowań wynosi:

dla wody oligoceńskiej 10,5 cm³

$$T_{\text{og}} = \frac{10,5 \text{ cm}^3 \cdot 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 1000}{100 \text{ cm}^3} = 2,1 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$$

dla wody wodociągowej 12,5 cm³

$$T_{\text{og}} = \frac{12,5 \text{ cm}^3 \cdot 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 1000}{100 \text{ cm}^3} = 2,5 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$$

dla wody przefiltrowanej 5,5 cm³

$$T_{\text{og}} = \frac{5,5 \text{ cm}^3 \cdot 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 1000}{100 \text{ cm}^3} = 1,1 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$$

Laboratoryjne oznaczanie twardości ogólnej wody wykazało, że w tym przypadku woda oligoceńska oraz woda wodociągowa to woda średnio twarda. Otrzymane wartości mieszczą się w zakresie 2-3,5 $\frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$ w skali twardości wody. Natomiast woda przefiltrowana to woda miękka, ponieważ zgodnie ze skalą twardości wody mieści się w zakresie 1-2 $\frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$.

Oznaczanie twardości wapniowej

Oznaczając twardość wapniową określa się stężenie jonów wapnia w badanej próbce wody. Badany roztwór należy zalkalizować poprzez dodanie roztworu wodorotlenku sodu NaOH do osiągnięcia pH $\approx$ 12. W tych warunkach strąca się wodorotlenek magnezu Mg(OH)₂,

w roztworze pozostają jony wapnia Ca^{2+} . Powstały osad nie przeszkadza w oznaczeniu zawartości jonów wapnia.

W celu oznaczenia zawartości jonów Ca^{2+} w badanej wodzie jako wskaźnik stosuje się mureksyd. Tworzy on z jonami wapnia nietrwały kompleks o różowej barwie. Po dodatku kwasu wersenowego, jony wapnia tworzą trwalszy kompleks łącząc się z EDTA. Mureksyd zostaje uwolniony od jonów Ca^{2+} . Wolny wskaźnik barwi się na fioletowo (fioletowo).



Porównanie zabarwienia roztworów zawierających jony wapnia

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Wykonanie:

1. Napełnij biuretę roztworem kwasu wersenowego o stężeniu $C_{\text{EDTA}} = 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ (do kreski oznaczonej 0 cm^3).
2. Do trzech kolb stożkowych o pojemności 250 cm^3 odmierzą cylindrem miarowym 100 cm^3 badanej wody.
3. Do każdej kolby dodaj 3 cm^3 roztworu NaOH o stężeniu $0,2 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$, a następnie szczyptę wskaźnika – mureksydu (roztwory zabarwią się na różowo).
4. Badane roztwory wody miareczkuj roztworem kwasu wersenowego dodając go kroplami z biurety (do roztworów w kolbach stożkowych). Po każdym dodaniu kropli EDTA, zawartość kolby należy zamieszać.
5. Miareczkowanie prowadź do zmiany barwy roztworu z różowej na fioletową.
6. Na biurecie odczytaj objętość użytego roztworu kwasu wersenowego z dokładnością do $0,05 \text{ cm}^3$. Wynik odpowiada zawartości jonów wapnia w badanej próbce wody.

Obliczanie twardości wapniowej

Kwas wersenowy tworzy z jonami wapnia kompleks w stosunku 1 : 1. Zatem liczba moli EDTA równa się liczbie moli jonów wapnia $n_{EDTA} = n_{jonów\ wapnia}$. Liczbę moli EDTA można wyznaczyć z iloczynu użytej w miareczkowaniu objętości kwasu wersenowego oraz stężenia EDTA. W celu wyznaczenia stężenia oznaczanych jonów wapnia należy liczbę moli EDTA podzielić przez objętość badanej próbki.

Stężenie oznaczanych jonów wapnia to twardość wapniowa wody T_{Ca} . Aby uzyskać jednostkę twardości wapniowej wody (mmol/dm^3) należy całe równanie pomnożyć przez 1000. Skąd ta wartość? Otóż, 1 mol to 1000 mmoli.

Twardość wapniową badanej wody można obliczyć ze wzoru:

$$T_{Ca} = \frac{V \cdot C \cdot 1000}{V_{pr}}$$

gdzie:

T_{Ca} – twardość wapniowa wody $\left[\frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3} \right]$

V – średnia wartość objętości roztworu EDTA uzyskana z trzech miareczkowań $[\text{cm}^3]$

C – stężenie roztworu EDTA użytego do miareczkowania $\left[\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \right]$

V_{pr} – objętość badanej wody użytej do oznaczenia twardości $[\text{cm}^3]$

Oznaczanie twardości wapniowej wody wodociągowej o objętości 100 cm^3

Przykład 2

Oblicz twardość wapniową wody wodociągowej, jeżeli średnia wartość objętości 0,02 $\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ roztworu EDTA uzyskana z trzech miareczkowań wynosi 9 cm^3 .

Rozwiązanie

$$T_{Ca} = \frac{9 \text{ cm}^3 \cdot 0,02 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \cdot 1000}{100 \text{ cm}^3} = 1,8 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$$

Odpowiedź

Twardość wapniowa wody wodociągowej wynosi 1,8 $\frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$.

Oznaczanie twardości magnezowej

Mając wyznaczoną twardość ogólną wody oraz twardość wapniową wody, można wyznaczyć twardość magnezową.

$$T_{\text{Mg}} = T_{\text{og}} - T_{\text{Ca}}$$

Przykład 3

Oblicz twardość magnezową wody wodociągowej. Dane dotyczące twardości ogólnej wody wodociągowej uzyskasz z **Przykładu 1**, zaś twardości wapniowej z **Przykładu 2**.

Rozwiązanie

$$T_{\text{Mg}} = 2,5 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3} - 1,8 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3} = 0,7 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$$

Odpowiedź

Twardość magnezowa wody wodociągowej wynosi $0,7 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$.

Słownik

miareczkowanie

technika polegająca na dodawaniu z biurety roztworu o znanym stężeniu do naczynia zawierającego roztwór badany; pozwala określić stężenie badanej substancji

Bibliografia

Minczewski J., Marczenko Z., *Chemia analityczna. Chemiczne metody analizy ilościowej 2*, Warszawa 2009.

Woda Oligoceńska, woda z kranu czy woda z filtra?, online:

http://smacznawoda.pl/woda_oligocenska.php?menu=6&lp=5, dostęp: 29.04.2021.

<https://akwa-filtry.pl/twardosc-wody/>



Test

Oznaczanie twardości wody

Czy wiesz jak w laboratorium można oznaczyć twardość wody? Czy znasz pojęcia związane z twardością wody? Sprawdź swoją wiedzę podczas gry w quiz. Gra składa się z trzech poziomów trudności, aby przejść do następnego najpierw musisz zaliczyć poprzedni. Powodzenia!

Poziom
trudności:

łatwy

Limit czasu:

4 min

Twój ostatni
wynik:

-

Uruchom

Ćwiczenie 1

Twardość magnezowa próbki wynosi $3,6 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$, a wapniowa $2,2 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$. Jaką objętość roztworu EDTA o stężeniu $0,02 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ zużyto do zmiareczkowania 70 cm^3 próbki?

Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zaznacz właściwą odpowiedź. Kwas wersenowy tworzy z jonami wapnia i magnezu kompleksy:

☐ bezbarwne

☐ o barwie czerwonej

☐ o barwie niebieskiej

☐ o barwie różowej

Ćwiczenie 2



Oceń prawdziwość twierdzeń dotyczących EDTA.

	PRAWDA	FAŁSZ
EDTA to kwas etylenodiaminotetraoctowy.	☐	☐
EDTA to kwas etylotetrapropylowy.	☐	☐
EDTA nie tworzy kompleksów z metalami.	☐	☐
EDTA jest kwasem organicznym	☐	☐

Ćwiczenie 3



Wskaż poprawne zdania.

- ☐ Mureksyd tworzy trwalsze kompleksy z jonami wapnia niż EDTA.
- ☐ EDTA tworzy trwalsze kompleksy z jonami wapnia i magnezu niż czerń eriochromowa T.
- ☐ Czerń eriochromowa T tworzy trwalsze kompleksy z jonami wapnia i magnezu niż EDTA.
- ☐ EDTA tworzy trwalsze kompleksy z jonami wapnia niż mureksyd.

Ćwiczenie 4



Do zmiareczkowania 150 cm^3 wody w obecności buforu amonowego i czerni eriochromowej T użyto 17 cm^3 roztworu EDTA o stężeniu $0,02\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$. Jaka jest twardość ogólna tej wody? Czy jest to woda miękka, średnio twarda czy twarda?

Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 5



Do oznaczenia twardości 150 cm^3 wody, w obecności 5 cm^3 $0,02\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ wodorotlenku sodu i mureksydu, użyto 25 cm^3 roztworu EDTA o stężeniu $0,01\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$. Jaką twardość można obliczyć w oparciu o te wyniki? Oblicz tę twardość.

Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 6



Do oznaczenia twardości ogólnej wody użyto 12 cm^3 roztworu EDTA o stężeniu $0,02\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$. Natomiast do oznaczenia twardości wapniowej użyto 7 cm^3 roztworu EDTA o tym samym stężeniu. Objętość badanej próbki wynosiła 60 cm^3 . Ile wynosi twardość magnezowa badanej wody?

Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 7



W laboratorium oznaczono twardość ogólną wody, która wyniosła $1,4\frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$. Ile cm^3 $0,01\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ roztworu EDTA użyto do oznaczenia twardości wody, jeżeli do oznaczenia użyto 110 cm^3 wody?

Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 8



Zaproponuj, w jaki sposób oznaczysz twardość wapniową wody, jeżeli do przebadania otrzymasz 120 cm^3 wody. Oblicz:

A. Ile cm^3 $0,02 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ roztworu wodorotlenku sodu należy dodać do tej próbki?

B. Ile cm^3 $0,01 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ roztworu kwasu wersenowego zużyto do oznaczenia, jeżeli twardość wapniowa wody wynosi $1,1 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3}$?

Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Dla nauczyciela

Scenariusz zajęć

Autor: Agata Krzak, Krzysztof Błaszczak

Przedmiot: chemia

Temat: Jak w laboratorium można oznaczyć twardość wody?

Grupa docelowa: uczniowie III etapu edukacyjnego, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony; uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym.

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

XI. Zastosowania wybranych związków nieorganicznych. Uczeń:

4) opisuje mechanizm zjawiska krasowego i usuwania twardości przemijającej wody; pisze odpowiednie równania reakcji.

Zakres rozszerzony

XI. Zastosowania wybranych związków nieorganicznych. Uczeń:

4) opisuje mechanizm zjawiska krasowego i usuwania twardości przemijającej wody; pisze odpowiednie równania reakcji.

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii;
- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne

Uczeń:

- wie co i dlaczego wywołuje twardość wody;
- wymienia rodzaje twardości wody;
- proponuje, jak w laboratorium można oznaczyć twardość wody.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna;
- problemowa.

Metody i techniki nauczania:

- dyskusja dydaktyczna;
- analiza materiału źródłowego;
- doświadczenie chemiczne;
- ćwiczenia uczniowskie;
- gra edukacyjna;
- technika termometr.

Formy pracy:

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do Internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- tablica interaktywna/tablica, kreda/marker;
- rzutnik multimedialny.

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Rozpoznanie wiedzy wstępnej uczniów. Uczniowie przypominają sobie informacje na temat twardości wody: czym jest spowodowana, jakie są jej rodzaje.
2. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji, które uczniowie zapisują na kartkach i gromadzą w portfolio.
3. Zasady BHP. Nauczyciel zapoznaje uczniów z kartami charakterystyk substancji, które będą używane na lekcjach.

Faza realizacyjna:

1. Uczniowie samodzielnie analizują tekst źródłowy w e-materiale w sekcji „przeczytaj” dotyczący oznaczania twardości wody. Na podstawie e-materiału uczniowie wykonują sketchnotatkę w zeszyte.
2. Doświadczenie chemiczne – „Oznaczanie twardości różnych rodzajów wody”. Nauczyciel poprzez losowanie dzieli uczniów na grupy. Zadaniem uczniów jest

zbadanie twardości różnych rodzajów wody (woda destylowana, woda z kranu, odgazowana woda mineralna). Uczniowie wybierają odpowiednie szkło i odczynniki znajdujące się na stole laboratoryjnym, a następnie przeprowadzają doświadczenie wg instrukcji podanej w e-materiale w sekcji „przeczytaj”. Nauczyciel rozdaje karty pracy ucznia. Uczniowie samodzielnie stawiają pytanie badawcze i hipotezę, rysują schemat doświadczenia, obserwują zmiany podczas doświadczenia, wyciągają wnioski (wszystko zapisują w kartach pracy). Następnie na forum całej klasy chętni uczniowie prezentują efekty pracy.

3. Nauczyciel prosi klasę, aby podzieliła się na trzyosobowe grupy. Zadaniem każdej grupy jest znalezienie w dostępnych źródłach wartości twardości wody z wybranych obszarów Polski bądź Warszawy. Na podstawie tych wartości, mają zaproponować laboratoryjny sposób oznaczenia twardości tej wody. Podają objętości oraz stężenia użytych reagentów (objętość badanej próbki, objętość oraz stężenie użytego EDTA). Wyniki popierają odpowiednimi obliczeniami. Źródłem danych może być strona internetowa Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w m.st. Warszawa: <https://www.mpwik.com.pl/view/twardosc-wody>.
4. Uczniowie pracują w parach z częścią „Sprawdź się”. Uczniowie wykonują zadania. Nauczyciel może wyświetlić treść poleceń na tablicy multimedialnej. Po każdym przeczytanym poleceniu nauczyciel daje uczniom określony czas na zastanowienie się, a następnie chętny uczeń z danej pary udziela odpowiedzi/prezentuje rozwiązanie na tablicy. Pozostali uczniowie ustosunkowują się do niej, proponując ewentualnie swoje pomysły. Nauczyciel w razie potrzeby koryguje odpowiedzi, dopowiada istotne informacje, udziela uczniom informacji zwrotnej. Ćwiczenia, których uczniowie nie zdążą wykonać podczas lekcji mogą być zlecone do wykonania w ramach pracy domowej.

Faza podsumowująca:

1. Na zakończenie nauczyciel stosuje narzędzie do oceny stopnia opanowania wiadomości i umiejętności z zastosowaniem termometru przez uczniów. Uczniowie na skali temperatury zaznaczają karteczkami samoprzylepnymi, w jakim stopniu opanowali zagadnienia wynikające z zamierzonych do osiągnięcia celów lekcji. Jeżeli ze skali będzie wynikał niski poziom temperatury, uczniowie zastanawiają się, w jaki sposób podnieść swój poziom posiadanej wiedzy?
2. Uczniowie w parach rozwiązują grę edukacyjną zawartą w multimedium bazowym.

Praca domowa:

Uczniowie wykonują pozostałe ćwiczenia w e-materiale – sprawdź się, których nie zdążyli wykonać na lekcji.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Gra edukacyjna może zostać wykorzystana przy przygotowywaniu się ucznia do sprawdzianu lub do zdobycia wiedzy w razie nieobecności ucznia na lekcji.

Materiały pomocnicze:

1. Nauczyciel przygotowuje narzędzie do oceny stopnia opanowania wiadomości i umiejętności z zastosowaniem termometru przez uczniów.
2. Doświadczenie chemiczne: „Oznaczanie twardości różnych rodzajów wody”.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: kolby stożkowe, łyżeczki, pipety, cylindry miarowe, biurety, stojaki na biuretę, lejki.

Odczynniki chemiczne: woda destylowana, woda z kranu, odgazowana woda Muszynianka, $0,02 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ roztwór wersenian disodu (EDTA), bufor amonowy, $0,02 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ roztwór wodorotlenku sodu, czerń eriochromowa T, mureksyd.

Instrukcja wykonania doświadczenia – patrz e-material w sekcji „przeczytaj”.

3. Karty charakterystyk substancji.
4. Karta pracy ucznia.