INSTRUKCJE DO ĆWICZEŃ LABORATORYJNYCH Z KLASYCZNEJ ANALIZY ILOŚCIOWEJ DLA I ROKU FARMACJI

1. PODSTAWOWE CZYNNOŚCI LABORATORYJNE
2. ALKACYMETRIA
3. NADMANGANOMETRIA
4. ARGENTOMETRIA
5. KOMPLEKSONOMETRIA

Zagadnienia teoretyczne analizy ilościowej

Przy wykonywaniu i zaliczaniu ćwiczeń z analizy ilościowej, tzw. klasycznej, obowiązuje wszystkich studentów znajomość podstaw teoretycznych na których opierają się te oznaczenia !
Wiedza ta jest sprawdzana w czasie ćwiczeń przez asystentów prowadzących. Wchodzi ona też w zakres kolokwium zaliczeniowego, a później także egzaminu.

Podstawowe podręczniki:

1. Z.S. Szmal i T. Lipiec „*Chemia analityczna z elementami analizy instrumentalnej"*- PZWL, Warszawa.
2. R. Kocjan „*Chemia analityczna* Podręcznik dla studentów" – PZWL, Warszawa.
3. Skrypt dla studentów I roku kierunku Farmacja do przedmiotu Chemia analityczna „*Przewodnik laboratoryjny. Analiza klasyczna"* – materiały dydaktyczne Zakładu Chemii Analitycznej

Przed rozpoczęciem ćwiczeń należy przyswoić sobie następujący zakres materiału:

1. Podstawy teoretyczne chemii analitycznej
2. Technika laboratoryjna
3. Analiza ilościowa, zagadnienia ogólne
4. Analiza miareczkowa, zagadnienia ogólne.

PODSTAWOWE CZYNNOŚCI LABORATORYJNE

1. WAŻENIE NA WADZE ANALITYCZNEJ

Uwaga wstępna dotyczy użycia klasycznej wagi analitycznej z mechanicznym ustawianiem odważników. Przedmiot ważony po raz pierwszy na wadze analitycznej należy uprzednio zważyć orientacyjnie na wadze technicznej. Znając przybliżoną masę ważonego przedmiotu ustawia się go na szalce, a następnie ustawia się odpowiednią ilość odważników gramowych. Po zapisaniu masy ważonego przedmiotu w dzienniku lub zeszycie wagowym, wagę należy zaaretować. Zdjąć przedmiot ważony oraz odważniki i ponownie sprawdzić punkt zerowy wagi.

W Zakładzie Chemii Analitycznej raczej rzadko używamy takich wag. Stosujemy wagi elektroniczne. W przypadku potrzeby możemy używać wag analitycznych z automatycznym nakładaniem odważników.

***Ważenie substancji stałej na wadze analitycznej**:*

1. Pierwszą czynnością jest zwykle włączenie wagi. Jeżeli jest włączona, nie zmieniamy tego ustawienia.
2. Na wyświetlaczu wagi powinien być widoczny komunikat: 0,0000 g. (w razie potrzeby można użyć przycisku „0").
3. Otwieramy komorę przeciwpodmuchową. Ustawiamy na środku szalki wagi zamknięte naczynko wagowe zawierające ważoną substancję. Drzwi komory przeciwpodmuchowej w czasie ważenia i odczytu wskazań wagi muszą być zamknięte.
4. Po ustabilizowaniu wskazań na wyświetlaczu należy dokonać odczytu masy naczynka zawierającego substancję (masa m_1).
5. Zdejmujemy z wagi naczynko. Wykonujemy to szczypcami lub przygotowaną wcześniej obejmą z paska papieru.
6. Odsypujemy odpowiednią porcję substancji z naczynka do kolby Elrenmeyera.
7. Po zamknięciu naczynka, ustawiamy je ponownie na środku szalki i zamykamy drzwi komory przeciwpodmuchowej.
8. Na wyświetlaczu pojawia się aktualna masa (masa m_2), którą odczytujemy z dokładnością do 0,0001 g.
9. Po zapisaniu odczytu, zdejmujemy naczynko z szalki wagi.

10. Różnica mas m_1-m_2 odpowiada masie substancji odsypanej do kolby Elrenmeyera (jest to tzw. masa odważki).

11. Zamykamy komorę przeciwpodmuchową.

Wszystkie czynności przenoszenia naczynka wagowego wykonujemy z użyciem obejmy papierowej lub szczypiec!

12. Jeśli waga będzie jeszcze używana, nie wyłączamy jej. Pozostawiamy urządzenie z komunikatem: 0,0000 g na wyświetlaczu.

UWAGI OGÓLNE:

1. Waga powinna być czysta. W przypadku rozsypania lub rozlania ważonej substancji, wagę należy natychmiast oczyścić pędzelkiem lub miękka ściereczką.

2. W przypadku doprowadzenia ważonego przedmiotu do stałej masy (suszenia), należy go ważyć w jednakowym czasie od chwili wyjęcia z pieca lub suszarki. Czas studzenia przed ważeniem nie powinien być krótszy niż 45 minut (najlepiej 1 godzinę).

2. ODMIERZANIE CIECZY PIPETĄ KLASYCZNĄ

Wykonanie doświadczenia z pipetą wielomiarową:

1. Wybieramy pipetę wielomiarową o pojemności 5 mL. Przemywamy ją woda destylowaną (dwukrotnie). Sprawdzamy czy pipeta jest czysta. Na końcówkę pipety nakładamy pompkę do pipetowania i pobieramy 1 mL wody destylowanej (menisk dolny powinien zatrzymać się na kresce wskazującej 1 mL)
2. Odczytujemy poziom cieczy. Trzymamy pipetę pionowo, tak aby podziałka była na wysokości oczu.
3. Po ustaleniu prawidłowego położenia dolnego menisku, dotkamy końcem pipety suchej ścianki naczynia, z którego pobiera się płyn, w celu usunięcia pozostałej na ściance pipety, kropli odmierzanej cieczy.
4. Umieścić wylot pipety nad naczyniem, do którego odmierzana jest ciecz. Trzymając pipetę pionowo, lekko pochylamy naczynie. Dotykamy końcem pipety ścianki naczynia i pozwalamy wypłynąć cieczy. Po opróżnieniu pipety, przytrzymujemy pipetę przy ściance jeszcze przez około 10 sek.
5. Na końcu pipety pozostaje kropla, której nie wolno wytrząsać i wydmuchiwać, jak również dotykać końcem pipety cieczy w naczyniu.

3. WYZNACZANIE WSPÓŁMIERNOŚCI KOLBY I PIPETY

Współmierność kolby i pipety wyznacza się obliczając objętość kolby i pipety (w stałej temperaturze) na podstawie pomiaru masy wody destylowanej zawartej w kolbie i pipecie oraz gęstości wody w tej temperaturze.

Przygotować szkło laboratoryjne

Kolba miarowa o pojemności 100 mL
Pipeta jednomiarowa o pojemności 20 mL

Wyznaczenie objętości kolby

1. Ważymy na wadze technicznej umytą i wysuszoną kolbę miarową (z korkiem) z dokładnością do 0,05 g (m_1).
2. Napełniamy kolbę wodą destylowana do kreski (menisk dolny) i ponownie ważymy kolbę z wodą na wadze technicznej (m_2).
3. Obliczyć objętość wody w kolbie używając wzoru:

$$V_k = \frac{m_2 - m_1}{d}$$

V_k – objętość kolby
m_2 – masa kolby z wodą
m_1 – masa pustej kolby
d – gęstość wody w danej temperaturze

Wyznaczanie współmierności kolby z pipetą

Współmierność kolby i pipety (W) oblicza się dzieląc objętość kolby przez nominalną objętość pipety:

$$W = \frac{V_{kolby}}{V_{pipety}}$$

UWAGI

Podczas odmierzania roztworu pipetą, pozostaje w niej pewna stała objętość cieczy. Tej pozostałości nie należy wydmuchiwać ani wytrząsać.

Przy spuszczaniu wody z pipety należy pipetę trzymać pionowo. Wylot pipety dotyka do ścianki naczynka. Po spuszczeniu wody odczekać 10-15 sek. i odjąć pipetę.

ANALIZA MIARECZKOWA

W każdym dziale student samodzielnie przygotowuje roztwory mianowane.

ALKACYMETRIA

Każdy student przygotowuje 1 litr około 0,1 mol/l HCl i 0,5 litra około 0,1 mol/l NaOH.

M_m (HCl) = 36,47g/mol
M_m (NaOH) = 40,00 g/mol

Sposób przygotowania 1 litra około 0,1 mol/l HCl

Do butli o pojemności 1 litra odmierzamy cylindrem miarowym ok. 35 ml 10% HCl o gęstości d = 1,05 i rozcieńczamy wodą destylowaną do objętości ok. 1 litra. Po wymieszaniu roztworu mianujemy go, stosując jako substancję wzorcową $KHCO_3$ (M_m=100 g/mol), wysuszoną w temperaturze 60^oC przez czas 1 godziny i wystudzeniu do temperatury pokojowej – min. 45 min.

Sposób przygotowania 0,5 litra około 0,1 mol/l NaOH

Odważamy na wadze technicznej na szkiełku zegarkowym ok. 2 g NaOH, który przesypujemy do butelki i rozpuszczamy w około 0,5 litra wody destylowanej.

Mianowanie ok. 0,1 mol/l HCl

Mianowanie wykonujemy *metodą bezpośrednich odważek.*

Wielkość odważki ustalamy tak, aby na jedną próbkę substancji wzorcowej zużyć od 20 do 30 ml roztworu, który mianujemy(tutaj odważka $KHCO_3$ z przedziału 200–300 mg).

Na wadze technicznej ważymy wstępnie naczynko wagowe z $KHCO_3$. Następnie, na wadze analitycznej, ważymy ponownie naczynko wraz z substancją z dokładnością do 0,1mg. Do kolbki stożkowej na 200 ml odsypujemy $KHCO_3$ o masie z przedziału 200–300 mg i naczynko wagowe z pozostałością substancji ważymy ponownie. Z różnicy mas otrzymujemy ilość $KHCO_3$ przesypaną do kolbki stożkowej. W analogiczny sposób dokonujemy jeszcze dwóch następnych odważek.

PRZYKŁAD:

Niech:

m_0 = 21,9782 g - masa początkowa naczynka z wysuszoną substancją
m_1 = 21,7219 g - masa naczynka po pierwszym odsypaniu substancji
m_2 = 21,5001 g - masa naczynka po drugim odsypaniu substancji
m_3 = 21,2016 g - masa naczynka po trzecim odsypaniu substancji

stąd:

$a_1 = m_0 - m_1 = 21{,}9782\ g - 21{,}7219\ g = 0{,}2563\ g$ ← masa pierwszej odważki
$a_2 = m_1 - m_2 = 21{,}7219\ g - 21{,}5001\ g = 0{,}2218\ g$ ← masa drugiej odważki
$a_3 = m_2 - m_3 = 21{,}5001\ g - 21{,}2016\ g = 0{,}2985\ g$ ← masa trzeciej odważki

Odważoną substancję rozpuszczamy w 20 - 30 ml wody destylowanej, dodajemy 2 krople oranżu metylowego i miareczkujemy ok. 0,1 mol/l HCl do zmiany zabarwienia z żółtego na cebulkowy. Miareczkujemy w ten sposób trzy próbki, za każdym razem uzupełniając poziom roztworu HCl w biurecie do kreski „0".

Stężenie HCl obliczamy zgodnie z poniższą reakcją

$$KHCO_3 + HCl \rightarrow KCl + H_2O + CO_2\uparrow$$

wg następującego wzoru:

Masa odważki $KHCO_3$.

$$c_{HCl} = \frac{a \cdot 1000}{M_{KHCO_3} \cdot V_{HCl}} \quad (mol/l)$$

Masa molowa substancji wzorcowej – $KHCO_3$.

V_{HCl} – objętość w ml zużytego roztworu HCl

Z trzech zgodnych (w granicach 1%) wartości stężeń wyliczamy wartość średnią (mol/l).

PRZYKŁAD:

Niech na miareczkowanie podanych wyżej odważek zużyto kolejno następujące objętości roztworu HCl:

$$V_1 = 24{,}30\ ml \quad stąd \quad c_1 = 0{,}1055\ mol/l$$
$$V_2 = 21{,}10\ ml \quad stąd \quad c_2 = 0{,}1051 mol/l$$
$$V_3 = 28{,}25\ ml \quad stąd \quad c_3 = 0{,}1057\ mol/l$$

Widać, że różnica między obliczoną największą wartością stężenia c_3 = 0,1057 mol/l a najmniejszą wartością c_2 = 0,1051mol/l ($c_3 - c_2$ = 0, 0006 mol/l) nie przekracza wartości 1 % wartości obliczonych stężeń. Wyniki traktujemy w granicach dopuszczalnego błędu jako zgodne i obliczamy wartość średnią stężenia HCl jako średnią arytmetyczną:

$$c_{HCl} = \frac{c_1 + c_2 + c_3}{3} = \frac{0{,}1055 + 0{,}1051 + 0{,}1057}{3} \quad mol/l = 0{,}1054\, mol/l$$

Uwaga:

1. Wyniki stężenia podajemy z czterema cyframi znaczącymi, tak, jak wyżej. Np. w przypadku obliczenia wartości 0,1200245 mol/l podajemy wynik 0,1200 mol/l.

   (nie 0,12 mol/l)

   Te „zera" mają sens cyfr znaczących.

   Wyniki oznaczanych mas substancji podajemy również z czterema cyframi znaczącymi.

2. W przypadku, gdyby któryś z wyników znacząco odbiegał od pozostałych, należy go odrzucić a wartość średnią liczyć z dwóch pozostałych, ale zgodnych w granicach dopuszczalnego błędu między próbkami – 1 %.

3. Gdyby wszystkie wyniki były znacząco rozbieżne, analizę należy powtórzyć, aż do uzyskania zgodności w granicach dopuszczalnego błędu.

4. We wzorach na stężenie roztworu lub masę oznaczanej substancji należy zwracać szczególną uwagę na prawidłowe wstawienie masy molowej – *nie mylić masy molowej substancji wzorcowej z masą molową substancji oznaczanej.* Dla jasności w podanych wzorach masy te wskazano strzałkami z komentarzem.

Oznaczanie K_2CO_3 (M_m = 138,2 g/mol)

Zadanie otrzymane do analizy uzupełnić wodą destylowaną do kreski i kilkakrotnie wymieszać. Do trzech kolb o pojemności 250 ml odpipetować po 20 ml analizowanego roztworu i dodać po 3 krople oranżu metylowego. Miareczkować mianowanym 0,1 mol/l roztworem HCl do barwy cebulkowej. Zawartość K_2CO_3 w gramach obliczamy zgodnie z następującą reakcją

$$K_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2KCl + H_2O + CO_2\uparrow$$

wg następującego wzoru:

Masa molowa substancji oznaczanej – K_2CO_3.

$$m_{K_2CO_3} = \frac{M_{K_2CO_3} \cdot V_{HCl} \cdot c_{HCl} \cdot w_{k/p}}{2 \cdot 1000}$$

M_m (K_2CO_3) = 138,2 g/mol

V_{HCl} – średnia objętość z trzech miareczkowań zużytego HCl

$w_{k/p}$ = 5 - współmierność kolby do pipety

Mianowanie roztworu NaOH

Do trzech kolbek stożkowych na 200 ml odmierzamy pipetą po 20 ml zmianowany uprzednio roztwór HCl, dodajemy 2 krople oranżu metylowego i miareczkujemy roztworem NaOH do zmiany barwy różowej na żółtą. Stężenie roztworu NaOH obliczamy zgodnie z następującą reakcją:

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$$

wg następującego wzoru:

$$c_{NaOH} = \frac{c_{HCl} \cdot V_{HCl}}{V_{NaOH}}$$

Oznaczanie HCl (M_m = 36,47g/mol)

Do 20 ml roztworu dodać 3 krople oranżu metylowego i miareczkować mianowanym 0,1 mol/l roztworem NaOH do barwy żółtej. Zawartość HCl obliczamy zgodnie z reakcją

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$$

wg następującego wzoru:

Masa molowa substancji oznaczanej – HCl.

$$m_{HCl} = \frac{M_{HCl} \cdot V_{NaOH} \cdot c_{NaOH} \cdot w_{k/p}}{1000}$$

M_m (HCl) = 36,47g/mol

REDOKSYMETRIA

Każdy student przygotowuje 1 litr ok. 0,02 mol/l $KMnO_4$ oraz 1litr ok. 0,1 mol/l $Na_2S_2O_3$ na 2 tygodnie przed mianowaniem roztworów.

NADMANGANIANOMETRIA

Sposób przygotowania ok. 0,02 mol/l $KMnO_4$ (M_m = 158,03 g/mol).

Na wadze technicznej odważamy na szkiełku zegarkowym ok. 3,5 g $KMnO_4$, przesypujemy do ciemnej butelki, rozpuszczamy w ok. 200 ml wody, a następnie uzupełniamy wodą do objętości ok. 1 litra i mieszamy. Po upływie dwóch tygodni roztwór mianujemy.

Mianowanie ok. 0,02 mol/l $KMnO_4$

Jako substancję wzorcową stosujemy $Na_2C_2O_4$ (M_m=134), suszony 1 godzinę w temperaturze 110°C i wystudzony do temperatury pokojowej – 45 minut. Mianowanie przeprowadzamy metodą bezpośrednich odważek. W tym celu, z naczynka wagowego, do kolby stożkowej na 300 ml, odważamy z dokładnością do 0,1 mg trzy odważki o masach zawartych między 150 i 200 mg (porównaj mianowanie 0,1 mol/l HCl).

Próbkę roztworu zawierającą szczawian sodu rozcieńczamy wodą do ok. 70 ml, zakwaszamy 30 ml H_2SO_4 (1+3), podgrzewamy do temperatury ok.70°C i miareczkujemy roztworem ok. 0,02 mol/l $KMnO_4$ do uzyskania trwałego (1 min) lekko różowego zabarwienia.

Stężenie roztworu $KMnO_4$ obliczamy zgodnie z reakcją

$$C_2O_4^{2-} \rightarrow 2CO_2 + 2e$$
$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$$

$$2MnO_4^- + 5C_2O_4^{2-} + 16H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 10CO_2 + 8H_2O$$

wg następującego wzoru:

$$c_{KMnO_4} = \frac{2a \cdot 1000}{5M_{Na_2C_2O_4} \cdot V_{KMnO_4}}$$

Masa odważki $Na_2C_2O_4$.

Masa molowa substancji wzorcowej – $Na_2C_2O_4$.

M_m ($Na_2C_2O_4$)=134 g/mol

Oznaczenie H_2O_2 (M_m=34,02 g/mol)

Do 20 ml roztworu dodać 10 ml H_2SO_4 (1+3) i niezwłocznie miareczkować 0,02 mol/l roztworem $KMnO_4$.

Zawartość H_2O_2 obliczamy zgodnie z reakcją

$$H_2O_2 \rightarrow 2H^+ + O_2 + 2e$$
$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$$
$$2MnO_4^- + 5H_2O_2 + 6H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 5O_2 + 8H_2O$$

według następującego wzoru:

Masa molowa substancji oznaczanej – H_2O_2.

$$m_{H_2O_2} = \frac{5c_{KMnO_4} \cdot V_{KMnO_4} \cdot M_{H_2O_2} \cdot w_{k/p}}{2 \cdot 1000}$$

M_m (H_2O_2)=34,02 g/mol

V_{KMnO4} – średnia objętość w ml zużytego roztworu $KMnO_4$

$w_{k/p}$ = 5 - współmierność kolby do pipety

ARGENTOMETRIA

Każdy student przygotowuje 0,5 litra około 0,1 mol/l $AgNO_3$. M_m $AgNO_3$ = 169,88 g

Sposób przygotowania 0,5 litra ok.0,1 mol/l $AgNO_3$

Na wadze technicznej w naczynku wagowym odważamy ok. 8,5 g $AgNO_3$, przesypujemy do ciemnej butli i rozpuszczamy w ok. 0,5 l wody. Po rozpuszczeniu i wymieszaniu roztworu mianujemy go stosując jako substancję wzorcową NaCl suszony 1 godz. w 110°C i wystudzony do temperatury pokojowej – 45 min.
Mianujemy, metodą bezpośrednich odważek - 3 próbki odważone z dokładnością do ±0,1 mg, o masie od 110 do 170 mg Tok postępowania jak przy oznaczaniu NaCl.
Stężenie roztworu $AgNO_3$ obliczamy zgodnie z reakcją

$$AgNO_3 + NaCl \rightarrow AgCl \downarrow + NaNO_3$$

wg następującego wzoru:

$$c_{AgNO_3} = \frac{a \cdot 1000}{M_{NaCl} \cdot V_{AgNO_3}}$$

Masa odważki NaCl.

Masa molowa substancji wzorcowej – NaCl.

M_m (NaCl) =58,45 g/mol

Oznaczanie NaCl (M_m=58,45 g/mol).

Do 20 ml oznaczanego roztworu NaCl dodać jako wskaźnika 5% roztwór K_2CrO_4: 5-10 kropli. Miareczkować roztworem 0,1 mol/l $AgNO_3$ do barwy lekko pomarańczowej. Zawartość oznaczanego składnika Zgodnie z powyższą reakcją obliczamy wg następującego wzoru:

$$m_{NaCl} = \frac{c_{AgNO_3} \cdot M_{NaCl} \cdot V_{AgNO_3} \cdot w_{k/p}}{1000}$$

Masa molowa substancji oznaczanej – NaCl.

KOMPLEKSONOMETRIA

Każdy student przygotowuje 500 ml 0,04 mol/l roztworu wersenianu dwusodowego (EDTA), który mianuje przy pomocy $CaCO_3$.

$M_m\ (CaCO_3) = 100{,}09\ g/mol$ $\qquad$ $M_m\ (EDTA) = 372{,}25\ g/mol$

Mianowanie wersenianu (EDTA)

Mianowanie wykonujemy *metodą pośrednią*, korzystając z pięciokrotnie większej odważki rozpuszczonej w kolbie miarowej na 100 ml.

Na wadze technicznej w naczynku wagowym odważamy ok. 0,5 g $CaCO_3$ i suszymy w temp. 110°C ok. 1 godziny. Następnie, po ostudzeniu, wykonujemy ważenie naczynka na wadze analitycznej z dokładnością do 0,1 mg. $CaCO_3$ przesypujemy przez suchy lejek z krótką nóżką do kolbki miarowej na 100 ml, a naczynko wagowe, z ewentualną niewielką pozostałością $CaCO_3$, ważymy ponownie. Z różnicy mas otrzymujemy ilość $CaCO_3$ przesypaną do kolbki miarowej. Lejek spłukujemy dokładnie niewielką ilością wody destylowanej, kierując ostrożnie strumień wody z tryskawki na górną część lejka. $CaCO_3$ rozpuszczamy przez dodanie do kolbki 15 ml 2 mol/l HCl. Całość uzupełniamy wodą destylowaną do kreski. Po dokładnym wymieszaniu roztworu, pobieramy pipetą (20 ml) trzy próbki do trzech kolbek stożkowych na 300 ml..

Do każdej kolbki stożkowej dodajemy do ok. 150 ml wody destylowanej, 15 ml 2 mol/l NaOH i 0,2 g kalcesu. Miareczkujemy wersenianem do zmiany barwy różowo - fioletowej na niebieską.

Miano EDTA obliczamy zgodnie z reakcją

EDTA

$$Ca^{2+} + H_2Y^{2-} \rightarrow CaY^{2-} + 2H^+$$

wg następującego wzoru:

Masa odważki $CaCO_3$.

$$c_{EDTA} = \frac{a \cdot 1000}{M_{CaCO_3} \cdot V_{EDTA} \cdot w_{k/p}}\ (mol/l)$$

$M_m\ (CaCO_3) = 100{,}09\ g/mol$

V – *objętość w ml zużytego roztworu*

$W_{k/p} = 5$ *- współmierność kolby do pipety*

Oznaczanie $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (M_m= 249,71 g/mol)

Do 20 ml roztworu dodawać kroplami stężony amoniak do chwili, gdy nastąpi przejście jonów Cu^{2+} w niebieski kompleks miedziowy i pojawi się trwały zapach amoniaku, lecz unikając jego nadmiaru, który utrudnia uchwycenie punktu równoważnikowego miareczkowania. Następnie dodać 0,2 g mureksydu i miareczkować 0,04 mol/l roztworem wersenianu do zmiany zabarwienia na fioletowo. Zawartość oznaczanego składnika obliczamy zgodnie z reakcją

$$Cu^{2+} + H_2Y^{2-} \rightarrow CuY^{2-} + 2H^+$$

wg następującego wzoru:

Masa molowa substancji oznaczanej – $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

$$m_{CuSO_4 \cdot 5H_2O} = \frac{c_{EDTA} \cdot V_{EDTA} \cdot M_m}{1000} \cdot w_{k/p}$$

M_m $(CuSO_4 \cdot 5H_2O)$ = 249,71g/mol

V – *objętość w ml zużytego roztworu EDTA*

$W_{k/p}$ = 5 - *współmierność kolby do pipet*