

Strona czasopisma: <http://analit.agh.edu.pl/>

Woltamperometryczna metoda oznaczania alfa-tokoferoli z zastosowaniem mikroelektrody złotej

Voltammetric method for the determination of alpha-tocopherols using a gold microelectrode

Małgorzata Filipek, Bogusław Baś

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

ABSTRAKT: Celem pracy było oznaczenie α -tokoferolu, jednego z naturalnych przeciwutleniaczy, metodą woltamperometrii cyklicznej. Badania zostały przeprowadzone na oliwach z oliwek pochodzących z rynku hiszpańskiego. Dla porównania, do pomiarów wykorzystano olej sezamowy, rzepakowy oraz arganowy. W celu oznaczenia α -tokoferolu użyto elektrody złotej o średnicy 25 μm . Elektrolit podstawowy stanowiła mieszanina nadchloranu sodu oraz lodowatego kwasu octowego. Odpowiedni wybór elektrolitu stanowi niezwykle ważny etap badań, odpowiada on m.in. za eliminację składowej migracyjnej prądu, która jest tłem addytywnym do rejestrowanej składowej faradajowskiej. Elektrolit podstawowy zapewnia nie tylko odpowiednie przewodnictwo elektrolityczne badanego roztworu, ale często gwarantuje również właściwe okno potencjałów i separację sygnałów. Kolejnym krokiem było zoptymalizowanie parametrów rejestracji krzywych oraz ilościowe oznaczenie α -tokoferolu metodą dodatku wzorca.

ABSTRACT: The aim of the work was to determine α -tocopherol, one of the natural antioxidants, by cyclic voltammetry. The tests were carried out on olive oils originating from the Spanish market, also for sesame, rapeseed and argan oil used for comparison. In order to determine this substance, a gold microelectrode with a diameter of 25 μm was used. The basic electrolyte was a mixture of sodium perchlorate and glacial acetic acid. Appropriate selection of this electrolyte was an extremely important research stage, it is responsible for the elimination of the current migration component, which is recorded on the voltamogram and for the appropriate electrolytic conductivity. The next step was to optimize curves registration parameters and to quantify α -tocopherol by the standard addition method.

Słowa kluczowe: α -tokoferol, woltamperometria, mikroelektroda złota, witamina E.

1. Wstęp

A-tokoferol jest substancją organiczną znajdującą się w grupie związków wchodzących w skład witaminy E, zwanej witaminą młodości. Rozpuszcza się w tłuszczach, traci swoje właściwości podczas ekspozycji na działanie światła słonecznego, jest jednym z najsilniejszych antyutleniaczy występujących naturalnie w przyrodzie. Ze wszystkich α -tokoferoli ma największe znaczenie dla organizmu człowieka, ponieważ charakteryzuje się najsilniejszą aktywnością biologiczną. Może być wykorzystywany podczas leczenia chorób serca, nowotworów, układu odpornościowego oraz niepłodności. Bardzo powszechnie występuje w produktach spożywczych takich jak orzechy, zielone warzywa liściaste, pomidory czy oleje.

Niniejsza praca przedstawia procedurę oznaczania α -tokoferoli, dzięki wykorzystaniu woltamperometrii, jako niezawodnej techniki wykrywania znikomo małych stężeń substancji. Badania wykonano techniką woltamperometrii cyklicznej z zastosowaniem mikroelektrody złotej, jako elektrody pracującej. Przedmiotem pomiarów były oliwy z oliwek pochodzące z różnych regionów Hiszpanii, wyniki porównano z olejami zakupionymi w Polsce, takimi jak rzepakowy i sezamowy.

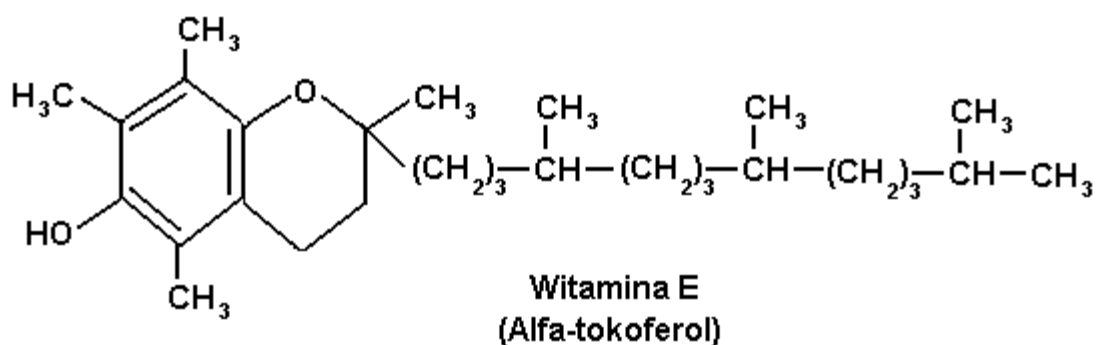
Zastosowanie tej metody pozwoliło na bardzo dokładne oznaczenie badanego związku w próbce. Woltamperometria jest jedną z najczęściej stosowanych technik oznaczania tak małych zawartości substancji. Otrzymane wyniki charakteryzują się wysoką precyzją oraz dokładnością, również przygotowanie próbek jest niezwykle proste w wykonaniu. Dobór elektrolitu podstawowego, zoptymalizowanie parametrów pomiarowych oraz wykorzystanie odpowiedniego rozpuszczalnika próbki badanej, stanowiło główny cel niniejszej pracy.

2. Alfa tokoferole – charakterystyka fizyczno-chemiczna

Alfa tokoferol jest związkiem organicznym, który obok tokoferoli β , γ , δ , ϵ , ζ , η , θ oraz tokotrienoli wchodzi w skład witaminy E. Obie grupy tej substancji posiadają podobne cechy fizyczne, jak i chemiczne. Związki te rozpuszczają się w tłuszczach, są nieodporne na ekspozycje światła słonecznego oraz długotrwałego przebywania na powietrzu, ulegają degradacji w niskich temperaturach. Swoje biologiczne właściwości tracą pod wpływem metali ciężkich, tlenu czy żelaza [3].

Nazwa alfa tokoferol pochodzi z języka greckiego i dosłownie oznacza tocos czyli „rodzić” oraz pherein – „nosić”. Pierwszy raz substancję tą wyizolowano z oleju sojowego w 1947 roku. Kilka miesięcy później zidentyfikowano 4 tokotrienole występujące naturalnie w przyrodzie: α , β , γ , δ [4].

Jedną z cech wspólnych łączących tokoferole oraz tokotrienole jest ich budowa chemiczna. Ich szkielet składa się z dwóch pierścieni 6-chromanolu oraz łańcucha bocznego zbudowanego z trzech jednostek izoprenowych [2]. Wzór strukturalny α -tokoferolu został przedstawiony na **Rys. 1**.



Rysunek 1. Wzór strukturalny α -tokoferolu [1].

Alfa tokoferole są powszechnie występującym składnikiem znajdującym się w pożywieniu. Jako związki pochodzenia roślinnego, można ją znaleźć w olejach, zielonych warzywach liściastych, pomidorach, orzechach, marchwi, czosnku, nasionach oraz ziarnach zbóż czy margarynie. Występują również w produktach pochodzenia zwierzęcego takich jak: jaja, wątroba oraz mleko, w których są magazynowane. Substancje te nie mogą być syntezowane w organizmie ludzkim, dlatego dostarczane α -tokoferole wraz z pożywieniem, gromadzą się w tkance tłuszczowej [13].

3. Wyniki oznaczania α -tokoferolu w oliwach.

W niniejszej pracy wykonano oznaczanie α -tokoferoli, metodą woltamperometrii cyklicznej. Badana substancja to związek organiczny, należący do antyoksydantów znajdujących się w witaminie E.

3.1. Aparatura pomiarowa

Do pomiarów wykorzystano analizator elektrochemiczny: model M20 firmy mtm-anko wraz z 8-kanalowym potencjostatem i przedwzmacniaczem, który rozszerza jego możliwości metrologiczne. Analizator wykorzystywany jest do pomiarów woltamperometrycznych, polarograficznych lub do obserwacji reakcji elektrodowych [12].

Analizator elektrochemiczny pozwala na oznaczenie śladowych zawartości substancji w badanej próbce, dzięki przyjętym rozwiązaniom, takim jak kondycjonowanie elektrod, przerywany tryb pomiarów czy stosowne oprogramowanie [18].

8-kanalowy potencjostat rozszerza możliwości metrologiczne analizatora, może współpracować z wieloma czujnikami, gdy mierzony prąd jest bardzo niski (poniżej 1 nA). Zadaniem przedwzmacniacza jest poprawienie relacji stosunku sygnału do szumu [12].

Na płycie górnej został zamocowany statyw elektrodowy, który obudowany jest puszką Faraday'a, dlatego układ ten jest stabilny i chroniony przed zakłóceniami elektromagnetycznymi. Z potencjostatem współpracuje oprogramowanie EAlab 8.1., które umożliwia rejestrowanie krzywych woltamperometrycznych, wybór odpowiednich parametrów pomiaru, przechowywanie oraz zapisywanie wyników w pamięci programu oraz interpretację wyników pomiarowych [12].

Poniżej przedstawiono podstawowe parametry potencjostatu:

- max. prąd wejściowy: +/- 500 μ A
- max. napięcie wyjściowe: +/- 10V
- prąd wejściowy :< 100fA
- szybkość narastania potencjału: 1 V/ μ s [12]

Pomiary wykonano wykorzystując trzy elektrody:

- elektroda pracująca: polaryzowalna, o małej powierzchni. Użyto mikroelektrody złotej o średnicy 25 μ m, wykonanej przez Profesora Mikołaja Dantena z Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego,
- elektroda odniesienia: odwracalna i niepolaryzowalna elektroda chlorosrebrowa z podwójnym płaszczem, wypełniona 3 M roztworem KCl i kwasem octowym,
- elektroda pomocnicza: o średnicy 1 mm wykonana z platyny.

Wspomnianym oprogramowaniem wykorzystanym podczas pomiarów był EAlab 8.1., dzięki któremu zarejestrowano oraz zinterpretowano krzywe, natomiast wszystkie wykresy wykonano przy pomocy programu OriginPro 7.

3.2. Przygotowanie elektrolitu podstawowego

Jednym z najważniejszych etapów analizy woltamperometrycznej jest dokładne zapoznanie się z substancją oznaczaną, a następnie dobór elektrolitu podstawowego. Odpowiedni jego skład jest konieczny do zapewnienia wysokiego przewodnictwa elektrycznego, jak również szerokiego zakresu użytecznych potencjałów. Jedną z jego funkcji jest również eliminowanie prądu migracyjnego. Od tych działań będzie zależało, czy analit zostanie oznaczony precyzyjnie z dużą dokładnością, a sygnał będzie pochodził od substancji oznaczanej, a nie substancji interferującej. Zajście procesu elektrodowego oraz kształt piku woltamperometrycznego zależą przede wszystkim od pH roztworu podstawowego oraz od jego składu chemicznego.

Podczas przygotowywania roztworu podstawowego odważono 0.612 g nadchloranu sodowego (NaClO₄) przy pomocy wagi analitycznej RADWAG, znajdującej się w laboratorium chemicznym w Katedrze Chemii Analitycznej AGH. Do kolby miarowej o objętości 50 ml dodano 0.612 g NaClO₄ i dopełniono do kreski lodowatym kwasem octowym. Gotowy elektrolit podstawowy przechowywano w warunkach pokojowych w laboratorium chemicznym.

3.3. Roztwór wzorcowy

W celu oznaczania α -tokoferolu w oliwach, wykorzystano substancję wzorcową firmy Sigma – Aldrich, zakupioną przez Katedrę Chemii Analitycznej. Jest ona niezbędna podczas analizy ilościowej i była wykorzystana podczas całego procesu analitycznego. Stężenie α -tokoferolu w ampułce wynosiło 100%.

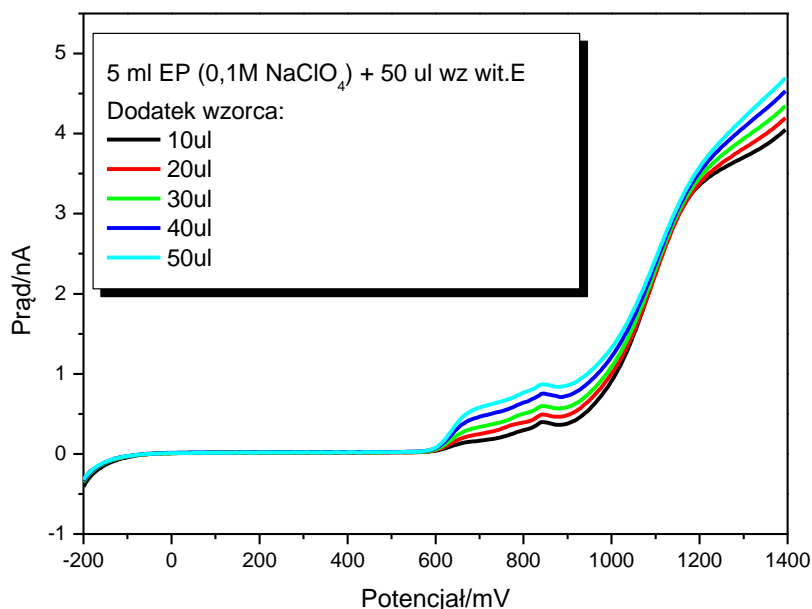
W celu przygotowania roztworu wzorcowego do kolby miarowej o pojemności 10 ml odważono 0.11 g α -tokoferolu firmy Sigma – Aldrich i dopełniono do kreski lodowatym kwasem octowym. Stężenie substancji w kolbie wynosiło 0.03M. Gotowy roztwór wzorcowy, który przechowywany był w temperaturze 4°C. W tych warunkach substancja uległa krystalizacji. Lodowaty kwas octowy nie zawiera wody, dlatego już w temperaturze dodatniej może ulec krzepnięciu.

3.4. Pierwsze pomiary

Pierwsze pomiary zostały wykonane w oparciu o wcześniej ustalone parametry pomiaru:

- Potencjał początkowy: $E_p = -200$ mV
- Potencjał końcowy: $E_k = 1400$ mV
- Potencjał schodka: $E_s = 1$ mV
- Czas oczekiwania: $t_w = 20$ ms
- Czas próbkowania: $t_p = 20$ ms
- Czas „przeładowania” warstwy podwójnej: $t_d = 500$ ms

Do naczynka woltamperometrycznego pipetą LABMATE Soft odmierzone 5 ml elektrolitu podstawowego, który był mieszaniną nadchloranu sodowego oraz lodowatego kwasu octowego. Umieściwiono trzy elektrody w pokrywie pojemnika, włączono aparaturę pomiarową, następnie program EALab i rozpoczęto pomiar.



Rysunek 2. Woltamogramy przedstawiające sygnały utleniania α -tokoferolu po dodatku 10-50 μ l roztworu wzorcowego.

Rys. 2 ilustruje przebieg krzywych po pięciokrotnym dodaniu odpowiednio po 10 μl roztworu wzorcowego α - tokoferolu. Stężenie substancji w naczynku wynosiło ostatecznie 0.06 M. Ten dodatek dawał jednoznaczną odpowiedź na pytanie, w której części zakresu pomiarowego występuje sygnał pochodzący od substancji oznaczanej. Na Rysunku 2 można zauważyć, iż znajduje się on w okolicach 800 – 900 mV, po kolejnych dodatkach wzorca wyraźnie wzrasta. Dlatego utwierdza to w przekonaniu, iż w tym zakresie obserwujemy szukany sygnał α - tokoferolu.

3.5. Optymalizacja warunków pomiarowych

W celu optymalizacji warunków pomiarowych wykonano badania woltamperometryczne na elektrodzie złotej modyfikując parametry wyjściowe. Roztworem badanym znajdującym się w naczynku była mieszanina o składzie:

- 5 ml elektrolitu podstawowego (0.1 M NaClO_4 + lodowaty kwas octowy),
- 50 μl roztworu wzorcowego α - tokoferolu.

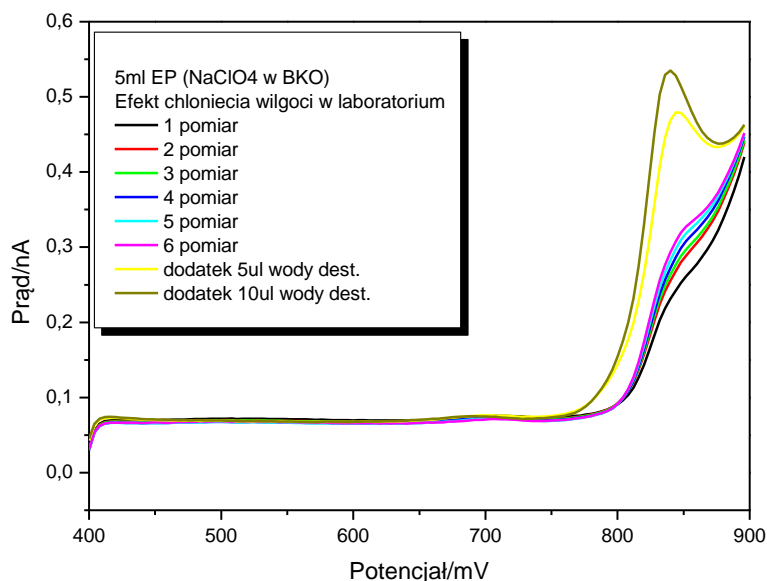
Zoptymalizowane parametry:

- Potencjał początkowy: 400 mV
- Potencjał końcowy: 900 mV
- Schodek potencjału: 4 mV
- Czas impulsu: 20 ms
- Czas zatężania: 1 s
- Zakres prądowy: 5 nA

3.6. Wyznaczenie krzywej kalibracji

W celu weryfikacji, czy sygnał jest wprost proporcjonalny do stężenia, wykonano kalibrację w następujący sposób. Tak samo jak przed każdym pomiarem, wypłukano elementy układu pomiarowego. Do naczynka wprowadzono 5 ml elektrolitu podstawowego, tj. roztworu nadchloranu sodowego w lodowatym kwasie octowym. Pomiary zostało wykonane po każdorazowym dodatku wzorca α - tokoferolu. Krzywe kalibracyjne wygenerowano dzięki programowi EAQt 5.9.1 [16].

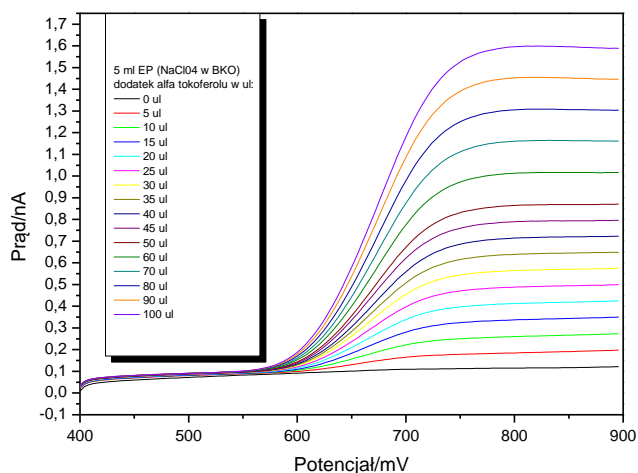
Po pierwszym dodatku wzorca pomiar powtórzono 6-krotnie. Zauważono niepokojąco zmieniające się krzywe, które odbiegały od siebie i charakteryzowały się dużą niestabilnością. Wykonano eksperyment, polegający na dwukrotnym dodaniu 5 μl wody destylowanej. Efekty tego doświadczenia zostały przedstawione na **Rys. 3**.



Rysunek 3. Efekt chłonicia wilgoci w laboratorium. Technika woltamperometrii cyklicznej po usunięciu przebiegów katodowych.

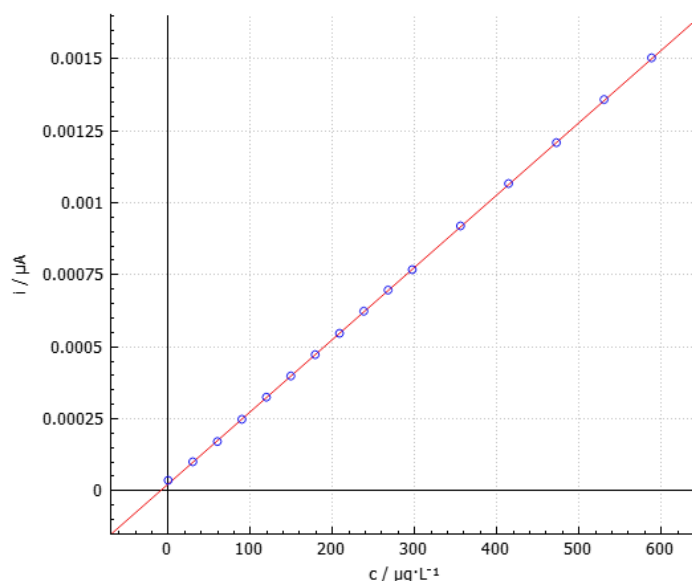
Po 6-krotnie dokonanej rejestracji woltamogramów przedstawione krzywe znacząco się od siebie różniły, wynikało to z niestabilności układu, spowodowanej chłonicciem wilgoci przez obecny w elektrolicie podstawowym, bezwodny kwas octowy. Zjawisko to można dostrzec po dwukrotnym dodatku wody destylowanej do naczynka, sygnał analityczny ewidentnie wzrasta o bardzo dużą wartość, przy potencjale 800 – 900 mV (są to dwie najwyższe krzywe). Aby zapobiec chłonicciu wody, postanowiono zaczerpować dopływ powietrza do naczynka, wykorzystując w tym celu korek.

Następnie przeprowadzono właściwą kalibrację, w tym celu wymyto naczynko woltamperometryczne, wprowadzono elektrolit podstawowy i rozpoczęto pomiary. Woltamogramy dla kolejnych dodatków wzorca zostały przedstawione na **Rys. 4**.



Rysunek 4. Woltamogramy przedstawiające utlenianie kolejnych dodatków α -tokoferolu na elektrodzie złotej. Technika woltamperometrii cyklicznej po usunięciu przebiegów katodowych.

Dodatek wprowadzano początkowo co 5 μl , następnie porcję zwiększono do 10 μl . Całkowita ilość roztworu wzorcowego α -tokoferolu w naczynku wynosiła 100 μl . Na wykresie można zauważyć jednorodny wzrost sygnału analitycznego po kolejnych dodatkach wzorca. Krzywą kalibracyjną wykonano w programie EAQt 5.9.1, została ona przedstawiona na **Rys. 5**.



Rysunek 5. Krzywa kalibracyjna wykonana dla woltamogramów z Rysunku 4.

Po sporządzeniu krzywej kalibracyjnej w programie EAQt 5.9.1. wartość współczynnika korelacji liniowej wyniosła 1. Co wynika z idealnej zależności liniowej pomiędzy sygnałem analitycznym a stężeniem analitu w badanej próbce.

3.7. Badane oliwy

W celu oznaczenia α -tokoferolu w próbce, analizie poddano dziesięć oliw zakupionych w różnych regionach Hiszpanii oraz w Polsce:

- I. Naturalna oliwa wytłoczona domowym sposobem z oliwek uprawianych w mieście Villena w regionie Alicante.
- II. Oliwa Virgen De Linarejos, zakupiona w mieście Linares w regionie Andaluzja,
- III. Oli D'oliva Borges Gust Suau – oliwa z oliwek z rejonu Katalonii.
- IV. Primadonna Bio Organic Hiszpańska oliwa z oliwek.
- V. MuelOliva, oliwa z oliwek uprawianych w mieście Cordoba.
- VI. Oliwa z oliwek zakupiona w Lidl pochodząca z miasta Sevilla.
- VII. Olej sezamowy.
- VIII. Sottile Gusto, olej z pestek winogron zakupiony w sklepie Biedronka,
- IX. Olej Wielkopolski (rzepakowy).
- X. Olej arganowy z Maroko.

Aby oznaczyć α -tokoferol w badanych oliwach, odważono kilka kropel oliwy na wadze analitycznej, następnie przeniesiono ilościowo do kolby o pojemności 10 ml. Aby rozpuścić tę substancję organiczną należało odpowiednio dobrać rozpuszczalnik. Był to jeden z trudniejszych etapów pracy, ponieważ powinno się zastosować substancje rozpuszczające w odpowiednim stosunku objętościowym. Okazało się, iż sam bezwodny kwas octowy nie może rozpuścić takiej ilości substancji badanej, aby zarejestrować odpowiedni sygnał analityczny, zapewniający rzetelną ocenę jakościową

oraz ilościową analitu. Dlatego optymalnym roztworem była mieszanina lodowatego kwasu octowego oraz octanu etylu w stosunku objętościowym 3:2 [13].

Aby substancja uległa rozтворzeniu do kolbki z odważoną oliwą dodano 0.5 ml roztworu octanu etylu i dopełniono do kreski bezwodnym kwasem octowym. W tych warunkach oliwa uległa całkowitemu rozpuszczeniu, i tak przygotowany roztwór mógł posłużyć do dalszych pomiarów woltamperometrycznych.

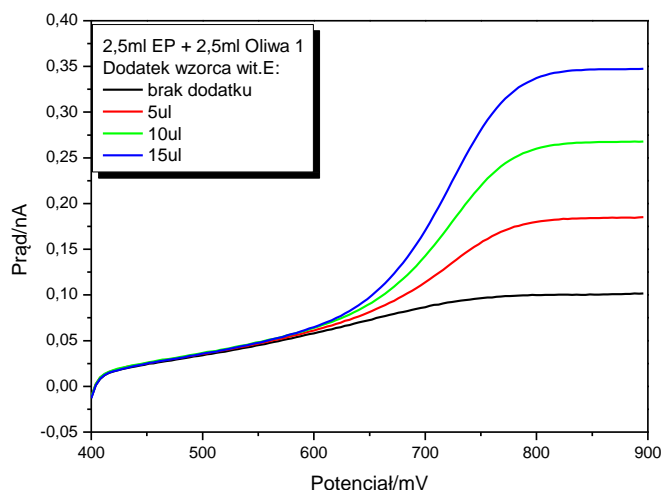
4. Wyniki oznaczania

W celu ilościowego oznaczenia substancji badanych w oliwach wykorzystano metodę dodatku wzorca. Jednym z podstawowych warunków wykorzystania tej techniki jest liniowa zależność pomiędzy sygnałem analitycznym, a stężeniem analitu. Został on spełniony, dzięki wygenerowaniu krzywej kalibracyjnej.

Pierwszym badanym produktem była naturalna oliwa wytłoczona domowym sposobem z oliwek uprawianych w mieście Villena, w regionie Alicante, znajdującym się na wschodzie Hiszpanii. Produkt ten nie jest dostępny w sprzedaży na szeroką skalę.

Pobrano oliwę pipetą i parę jej kropeł zważono na wadze analitycznej, która wskazała jej masę na 0.057 g. Następnie substancję wprowadzono do kolby o objętości 10 ml, dodano 0.5 ml octanu etylu i dopełniono do kreski bezwodnym kwasem octowym. Po całkowitym rozpuszczeniu się oleju rozpoczęto pomiary.

Do naczynka woltamperometrycznego wprowadzono 2.5 ml elektrolitu podstawowego, składającego się z 0.612 g nadchloranu sodu NaClO_4 oraz bezwodnego kwasu octowego oraz 2.5 ml przygotowanego roztworu oliwy. Pomiary przeprowadzono po każdorazowym dodatku wzorca, całkowita jego zawartość w naczynku wynosiła 15 μl . Zarejestrowane krzywe zostały przedstawione na **Rys. 6**.



Rysunek 6. Woltamogramy ilustrujące wzrost sygnału α -tokoferolu po każdorazowym dodatku wzorca. Technika woltamperometrii cyklicznej po usunięciu przebiegów katodowych.

Zastosowany program dokonał kalibracji i wyznaczył zależność sygnału od stężenia, wykorzystując wzór:

$$I_p = a + b \cdot \text{stężenie} \quad (1)$$

Współczynnik korelacji w tym przypadku wynosił 1, dlatego możemy śmiało stwierdzić, iż stosunek jest liniowy. EAQt 4.9.1. automatycznie wygenerował stężenie α -tokoferolu w naczynku woltamperometrycznym, jego wartość wynosi $18.51 \pm 0.03 \mu\text{g/l}$.

Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarów.

Pozycja	Numeracja oliwy	Nazwa oliwy	Stężenie analitu w naczynku woltamperometrycznym	Wynik oznaczenia [μg na 1g oliwy]
1	Oliwa X	Olejek arganowy (Maroko)	$67.79 \pm 0.04 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$	15.80 μg
2	Oliwa IX	Olej Wielkopolski	$54.98 \pm 0.09 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$	13.22 μg
3	Oliwa II	Oliwa Virgen de Linarejos (Andaluzja)	$33.43 \pm 0.02 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$	9,4 μg
4	Oliwa VIII	Olej z pestek winogron	$34.00 \pm 0.02 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$	8.12 μg
5	Oliwa IV	Bio Organic (Lidl)	$32.16 \pm 0.03 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$	7,71 μg
6	Oliwa V	Oliwa MuelOliva Cordoba	$31.46 \pm 0.03 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$	7.40 μg
7	Oliwa VII	Olej sezamowy	$31.51 \pm 0.03 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$	7.35 μg
8	Oliwa III	Oli D'oliva Borges (Katalonia)	$30.07 \pm 0.08 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$	6.85 μg
9	Oliwa I	Oliwa naturalna z Villeny (Alicante)	$18.51 \pm 0.03 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$	6.49 μg
10	Oliwa VI	Oliwa z oliwek (Sevilla)	$28.53 \pm 0.01 \frac{\mu\text{g}}{\text{l}}$	6.39 μg

Następnie przystąpiono do wyliczenia zawartości α -tokoferolu w badanej Oliwie I:

- masa oleju wprowadzonego do naczynka:

$$m = 0.057 \text{ g}$$

- w 5 ml (naczynku woltamperometrycznym) stężenie α -tokoferolu wynosiło:

$$c_1 = 18.51 \mu\text{g/l}$$

- współczynnik rozcieńczenia w naczynku wynosił 2, dlatego wartość stężenia zostaje pomnożona przez tę wartość:

$$c_2 = 18.51 \cdot 2 = 37.02 \mu\text{g/l}$$

- zawartość α -tokoferolu w kolbce o pojemności 10 ml wynosiła):

$$c_3 = 37.02 / 100 = 0.370 \mu\text{g/l}$$

- obliczono ile α -tokoferolu zawarta jest w 1 g badanej oliwy:

$$0.370 \mu\text{g} - 0.057 \text{ g}$$

$$x-1 \text{ g}$$

$$m_{\text{tokoferolu}} = (1\text{g} \cdot 0,370\ \mu\text{g}) / (0,057\ \text{g}) = 6,49\ \mu\text{g/g oliwy}$$

Procedura oznaczania innych oliw przebiegała w identyczny sposób jak w przypadku Oliwy I. **Tab. 1** prezentuje wszystkie badane oliwy uszeregowane malejąco pod względem zawartości α -tokoferoli w ich składzie.

5. Wnioski

Na pierwszym miejscu, czyli z największą zawartością α -tokoferolu, widnieje olejek arganowy, który jako jedyny z powyższej tabeli jest olejem stosowanym w celach kosmetycznych. Znany jest on ze swoich odmładzających właściwości, ze względu na swój bogaty skład w witaminę E.

Naturalne, hiszpańskie oliwy spożywcze powinny zawierać najwięcej witaminy E, jednakże podczas procesu ich produkcji witamina ta jest bardzo często ekstrahowana i przekazywana koncernom kosmetycznym. Następnie wykorzystywane są jako dodatek do kremów, balsamów, czy olejków. Dlatego też w przedstawionych wyżej wynikach, oleje spożywcze uplasowane są poniżej olejku arganowego. Jak przypuszczano oliwa z oliwek z miasta Linares posiada największą zawartość tokoferoli spośród wszystkich hiszpańskich oliw. Jest ona jedną z najlepszych produktów, najwyższego gatunku.

Uwagę zwraca również rzepakowy Olej Wielkopolski, w którym zawartość witaminy E jest dużo wyższa niż w pozostałych oliwach. W Polsce bowiem nie praktykuje się usuwania α -tokoferoli z oliw spożywczych. Dlatego też jeśli chcemy suplementować się witaminą E, zalecane jest kupowanie olejów od polskich producentów.

Literatura

- [1] <http://www.edunauka.pl/biochwitaminy1.php> (odwiedzona 20.12.2017)
- [2] https://pl.wikipedia.org/wiki/Witamina_E (odwiedzona 12.11.2017)
- [3] <https://www.punktzdrowia.pl/zdrowie/witamina-e-zbawienny-przeciwutleniacz> (odwiedzona 12.11.2017)
- [4] Sokol R.J.: Vitamin E, In Present Knowledge in Nutrition. 7th ed., ILSI Press Washington, D.C., 1996, 13.
- [5] Evans H.M., Emerson O.H., Emerson G.A.: The isolation form wheat germ oil of an alcohol, alpha tocopherol, having the properties of vitamin E. J Biol. Chem. 1936, 113, 319.
- [6] Zielińska A., Nowak I. Tokoferole I tokotrienole jako witamina E, CHEMIK 2014, 68, 7, 585-591, Poznań
- [7] <http://bonavita.pl/witamina-e-jej-historia-funkcje-i-lecznicze-wlasciwosci> (odwiedzona 11.11.2017)
- [8] [http://matrix.ur.krakow.pl/~aduda-chodak/dydaktyka/elektywy/2012/cwiczenie% 20I% 20i% 20II.pdf](http://matrix.ur.krakow.pl/~aduda-chodak/dydaktyka/elektywy/2012/cwiczenie%20I%20i%20II.pdf) (odwiedzona 12.05.2018)
- [9] Ufnalska I. Woltamperometria, Politechnika Wrszawska Wydział chemiczny, warszawa 2015
- [10] Gołaś J. Mikroelektrody – elektrochemiczne detektory do badań roztworów w warunkach definiowanych jako skrajne, Kraków 1992
- [11] Otoni S.: Carbon, 3.213, 1965
- [12] http://galaxy.uci.agh.edu.pl/~kca/potencjostat_8_kanalowy.html (odwiedzona 25.05.2018)
- [13] Rozprawa habilitacyjna, „Zastosowanie kwasu octowego jako środowiska do badania właściwości elektrochemicznych antyutleniaczy hydrofobowych oraz do ich woltamperometrycznego oznaczania w obecności naturalnych matryc”, Sławomir Michałkiewicz, 2012
- [14] <http://www.vitanatural.pl/witamina-e-zestaw-tokoferoli> (odwiedzona 02.04.2018)
- [15] Prior R. L., Wu X., Schaich K.: Standarized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. J. Agric. Food Chem. 2005, 53, 4290-4302.
- [16] Kubiak W.W., Gołaś J., Instrumentalne metody analizy chemicznej, Wydawnictwo naukowe AKAPIT, Kraków 2005.
- [17] <http://normydruku.pl/en/dokadno-a-precyzja> (odwiedzona 06.05.2018)
- [18] <http://www.mtmanko.com/analizator-m161e/> (odwiedzona 12.05.2018)
- [19] Encyklopedia techniki. Chemia, Władysław Gajewski (red.), wyd. 1, Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1965.