

Analiza preparatów zawierających kofeinę przeznaczonych dla sportowców

Analysis of preparations containing caffeine for use by athletes

Alicja Chrzanowska, Julia Makulec, Katarzyna Paradowska

Zakład Chemii Organicznej i Fizycznej, Wydział Farmaceutyczny Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, ul. Banacha 1, 02-097 Warszawa, e-mail: katarzyna.paradowska@wum.edu.pl

Słowa kluczowe: kofeina, suplementy dla sportowców, właściwości antyoksydacyjne
Keywords: caffeine, supplements for athletes, antioxidant properties

Streszczenie

Kofeina to popularny i powszechny składnik diety. Codziennie spożywana jest przez 90% populacji osób dorosłych na świecie. Jej dzienne spożycie w europejskich krajach kształtuje się na poziomie od 280 do 490 mg. Najważniejszym źródłem kofeiny jest kawa. Jednakże w ostatnich czasach asortyment produktów zawierających kofeinę został bardzo poszerzony – przede wszystkim o leki i suplementy diety, co powoduje powszechne i niekontrolowane jej spożycie. Ważną kwestią jest również kontrola zawartości substancji czynnej w suplementach diety, będąca kluczem do bezpiecznego ich stosowania. Celem badań było oznaczenie zawartości kofeiny i całkowitej zawartości polifenoli (TP) w popularnych produktach przeznaczonych dla sportowców oraz wykazanie zgodności ich składu z tym deklarowanym przez producenta. Do analizy wybrano pięć produktów o różnej formulacji: napój, shoty i żele. Analiza tych preparatów wykazała, że formulacja produktów jest zróżnicowana, co miało istotny wpływ na dobór metody badawczej ich składu. Zgodność rzeczywistej zawartości substancji aktywnej – kofeiny z deklarowaną przez producenta stwierdzono w przypadku trzech z pięciu analizowanych preparatów. Preparaty różniły się także całkowitą zawartością polifenoli, co korelowało z obecnością w nich dodatkowych składników, takich jak ekstrakt z nasion guarany.

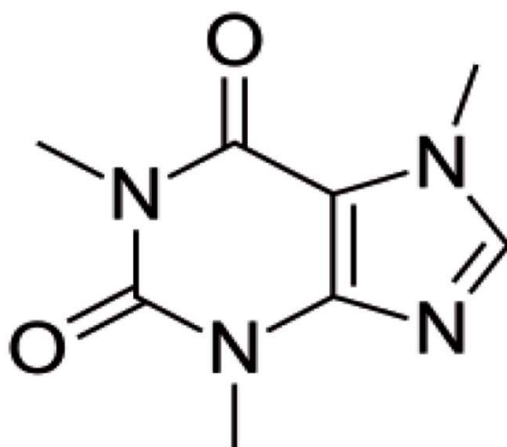
Summary

Caffeine is a popular and common ingredient in the human diet. A recent study has revealed that 90% of the global adult population consumes caffeine on a daily basis. In European countries, the daily intake of caffeine ranges from 280 to 490 milligrams. The predominant source of caffeine in the global diet is coffee. However, there has been a significant expansion in the range of products containing caffeine, including medicines and dietary supplements,

which has led to widespread and uncontrolled consumption. A salient issue pertains to the regulation of active ingredient content in dietary supplements, a pivotal aspect in ensuring their safe usage. The objective of this study was to ascertain the caffeine and total polyphenol (TP) content in widely consumed products aimed at athletes, with a view to demonstrating adherence to the composition declared by the manufacturer. A selection of five products with different formulations was analysed: a drink, shots and gels. The analysis of these preparations demonstrated that the choice of method of composition testing is significantly impacted by the different formulations of the products. Compliance with the content of the active substance (caffeine) as stated by the manufacturer was obtained in three out of the five preparations analysed. The preparations also differed in their total polyphenol content, which correlated with the composition of preparations with additional ingredients such as guarana seed extract.

Wstęp

Wielu sportowców by zmaksymalizować efektywność treningu, sięga po suplementy diety oraz przeznaczone specjalnie dla nich produkty, np. żywność wzbogaconą o konkretne składniki odżywcze. Główną intencją stosujących je osób jest wysycenie organizmu mikro- i makroelementami, co pozwala uzyskać lepsze wyniki w sporcie oraz minimalizuje ryzyko niedoborów wynikających z intensywnego wysiłku fizycznego. Niektóre z tego typu substancji mają za zadanie wywołać ściśle określony efekt, inne cieszą się dobrą sławą ze względu na szerokie spektrum działań wpływających korzystnie na organizm sportowca. Do tej drugiej grupy substancji należy kofeina, czyli 1,3,7-trimetylo-3,7-dihydro-1H-puryno-2,6-dion (Rysunek 1).



Rysunek 1. Wzór chemiczny kofeiny – 1,3,7-trimetylo-3,7-dihydro-1H-puryno-2,6-dionu.
Figure 1. Chemical formula of caffeine – 1,3,7-trimethyl-3,7-dihydro-1H-purine-2,6-dione.

Źródło: opracowanie własne.

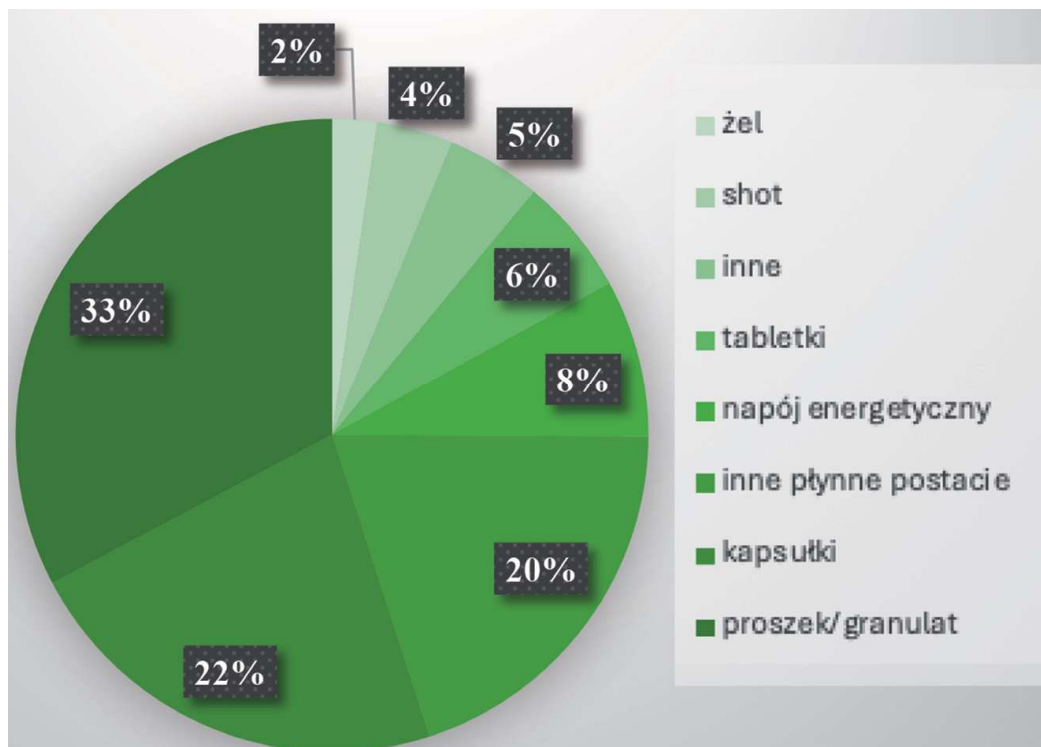
Jest ona naturalnym alkaloidem z grupy purynopochodnych. Jak wszystkie substancje z tej rodziny, posiada dwa człony strukturalne: pirymidynowy i imidazolowy. Jest to związek biheterocykliczny, posiadający łącznie cztery atomy azotu. Jest on słabą zasadą i w chemicznie czystej postaci występuje jako biały, bezwonny proszek o miątkiej lub delikatnie krystalicznej strukturze. Dobrze rozpuszcza się w wodzie, szczególnie cieplej, lecz trudno – w etanolu 96% i innych rozpuszczalnikach organicznych [1].

W stanie naturalnym kofeina znajduje się w surowcach roślinnych takich jak: liść herbaty (łac. *folium theae*) (zawartość do 4,5% kofeiny), zarodek kola (łac. *embrio colae*) (do 2,5%), nasiona kawy (łac. *semen coffeae*) (do 2,5%), ekstrakt z nasion guarany (łac. *extractum guaranae*) (do 5%), liście mate (łac. *folium mate*) (do 1,8%) [2]. Ten popularny alkaloid purynowy jest regularnie przyjmowany przez większość dorosłej populacji świata podczas picia kawy. Aż 75% Amerykanów powyżej 20. roku życia deklaruje regularne picie tego napoju [3], podczas gdy Europejczycy odpowiadają za jedną trzecią światowego spożycia kawy [4]. Konsumenci kawy cenią kofeinę za jej działanie pobudzające. Sportowcy, którzy również doceniają kofeinę za jej stymulujący wpływ na organizm i z powodzeniem stosują ją w tym celu przed treningiem, dobrze wiedzą, że potencjał drzemiający w tej naturalnej metyloksantynie jest znacznie większy.

Na dzień 11 lutego 2025 r. do Głównego Inspektora Sanitarnego zgłoszono 3415 suplementów diety, w składzie których występuje kofeina. Wybrane przez nas do badań formy produktów stanowią nieznaczný procent tych występujących na polskim rynku (żele – 2%, shoty – 4%, napoje energetyczne – 8%). Największy odsetek suplementów z kofeiną stanowią granulaty lub proszki, łącznie z takimi do sporządzenia roztworów pitnych. Jeszcze mniej na rynku można znaleźć produktów typu: lizak, guma do żucia, susz, żelki, które na wykresie przedstawiającym procentowy udział w rynku poszczególnych form preparatów (Rysunek 2) zostały ujęte pod nazwą „inne”. Te preparaty, w przeciwieństwie do wybranych do analizy, stanowią pojedyncze pozycje. Taki stan znacząco utrudnia przeprowadzenie badań reprezentatywnych lub takich, które nie cieszą się zbyt dużym zainteresowaniem konsumentów [5].

Analizie poddane zostały innowacyjne formy suplementów szczególnie popularne wśród sportowców – ze względu na wygodę ich stosowania i brak potrzeby specjalnego przygotowywania ich do spożycia.

Należy zauważyć, iż coraz większe uznanie zyskują shoty, czyli napoje zawierające funkcjonalne składniki w małej objętości, a co za tym idzie w skoncentrowanej dawce, dzięki czemu są jeszcze wygodniejsze w stosowaniu od tradycyjnych napojów energetycznych.



Rysunek 2. Udział procentowy wybranych postaci suplementów dostępnych na polskim rynku.

Figure 2. Percentage share of selected supplement forms available on the Polish market.

Źródło: własne na podstawie [5].

Kofeina jest antagonistą receptorów adenozynowych umiejscowionych w tkance mięśniowej, nerwowej i tłuszczowej, blokującym działanie adenozyny. W miocytach mięśni szkieletowych oraz mięśnia sercowego powoduje uwrażliwienie receptorów dopaminergicznych [6] i wapniowych indukowanych wapniem oraz hamuje aktywność fosfodiesterazy [7]. Skutkuje to zwiększonym uwalnianiem do cytoplazmy komórkowej jonów wapniowych zmagazynowanych wcześniej w strukturach siateczki śródplazmatycznej. Mechanizm ten zwiększa siłę mięśniową oraz tolerancję miocytów na wysiłek, umożliwiając wydłużenie czasu aktywności fizycznej. Ponadto kofeina powoduje rozszerzenie oskrzeli i naczyń krwionośnych [6], co usprawnia transport tlenu do mięśni i tym samym wydłuża ich pracę w trybie tlnowym [8], wzmagając działanie ergogeniczne (poprawiające wydolność fizyczną). Dodatkowo kofeina pobudza zwoje autonomiczne serca.

Wpływ kofeiny na neurony również wiąże się z uwalnianiem wapnia wewnątrzkomórkowego. Łączy się ona z receptorami rianodynowymi, powodując uwolnienie z retikulum endoplazmatycznego jonów Ca^{2+} , które odpowiadają za wydłużenie hiperpolaryzacji w neuronach piramidowych znajdujących się w korze ruchowej mózgu [7]. Ponadto uwrażliwienie receptorów dopaminergicznych skutkuje wyrzutem dopaminy, podlegającym zarówno mechanizmowi zależnemu, jak i niezależnemu od glutaminianu [9]. Nie tylko kofeina, ale również jej metabolity o budowie

metylksantyn oddziałują na neurony kory mózgowej poprzez zwiększenie stężenia wybranych neurotransmiterów, np. serotoniny, adrenaliny czy noradrenaliny [9]. Efektami synergicznego działania wszystkich mechanizmów oddziaływania kofeiny na układ nerwowy jest ogólne pobudzenie psychoruchowe, podniesienie koncentracji, polepszenie nastroju i większa tolerancja na zmęczenie.

Blokując receptory dla adenozyliny w komórkach tkanki tłuszczowej, kofeina powoduje nasilenie lipolizy, a tym samym doprowadza do pojawiania się we krwi większej ilości wolnych kwasów tłuszczowych [10]. Z badań przeprowadzonych na mysich adipocytach (komórkach magazynujących tłuszcz) 3T3-L1 wynika, że kofeina nie ma wpływu na proces dojrzewania preadipocytów (komórek prekursorskich mogących różnicować się w adipocyty) 3T3-L1. Jednakże ten sam eksperyment dowiódł, że alkaloidy purynowe przeciwdziałają gromadzeniu się w dojrzałych adipocytach lipidów oraz zapobiegają wychwytowi glukozy propagowanemu przez insulinę [11]. Obserwacje te pozwalają na konkluzję, że kofeina ma właściwości wspomagające zmniejszenie tkanki tłuszczowej oraz redukcję wagi, a nawet może przeciwdziałać rozwojowi cukrzycy typu 2 [10].

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione korzystne działanie kofeiny i jej metabolitów na ludzki organizm, nie dziwi, iż jest tak chętnie stosowana przez sportowców. Tym bardziej że kofeina uważana jest przez amerykańską Agencję do spraw Żywności i Leków (FDA) oraz Europejski Urząd do spraw Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) za bezpieczną i przy rozsądnym stosowaniu nawet za prozdrowotną [10, 12]. Obydwie te organizacje kładą nacisk na rozgraniczenie pomiędzy kofeiną pochodzenia naturalnego a tą, którą wzbogaca się żywność i stosuje w suplementach diety. Jednocześnie uważają za kwestię alarmującą fakt, że zawartość kofeiny w tabletkach, kapsułkach, żelach i napojach energetyzujących nie jest prawnie uregulowana i wynosi średnio 40–100 mg [13]. Długotrwałe stosowanie takich produktów może wpłynąć na rozwinięcie się uzależnienia i gwałtowne zaprzestanie podawania kofeiny, nawet we wczesnej fazie nałogu, spowoduje objawy odstawienia, takie jak zmęczenie, zawroty i bóle głowy oraz nudności [14]. Ponadto nawet u osób nieuzależnionych, przyjmujących regularnie ten alkaloid, nagłe odstawienie spowoduje uczucie znudzenia i zmniejszy tolerancję na wysiłek. Dodatkowo jego zbyt duże spożycie może powodować nerwowość i drżenie kończyn [10]. Dawka kofeiny, po przekroczeniu której mogą pojawić się działania niepożądane, zależy od wielu czynników, w tym predyspozycji genetycznych do jej metabolizowania, jak również masy ciała, jednak za górną granicę bezpiecznej ilości przyjmuje się 300–500 mg/dobę [15].

Wykorzystywana do produkcji suplementów kofeina pochodzenia naturalnego różni się od jej syntetycznego odpowiednika tym, że mogą dodatkowo być w niej obecne polifenole. Związki te szeroko występują w wielu produktach ro-

ślinnych, a ze względu na swoją specyficzną budowę posiadają silne właściwości antyoksydacyjne. Zawarte w nich liczne grupy hydroksylowe bardzo łatwo ulegają utlenieniu wolnymi rodnikami tlenu, co chroni organizm przed rozwojem wielu stanów patologicznych, takich jak zmiany nowotworowe czy choroby układu krążenia [16].

Część eksperymentalna

Analizie poddano pięć produktów kupionych w polskich sklepach spożywczych. W Tabeli 1 przedstawiono formę produktu wraz z opisem podanym przez producenta. Preparaty stanowiły: dwa żele energetyczne, dwa shoty energetyczne i jeden napój energetyczny. Wszystkie wyżej wymienione pozycje należą do grupy produktów specjalnego przeznaczenia dla sportowców.

Tabela 1. Forma preparatu oraz opis składu deklarowanego przez producenta.

Table. 1. Formulation of the preparation and description of the composition declared by the manufacturer.

Nr próbki	Forma preparatu	Opis
I	Napój	Gazowany napój zawierający ekstrakt z zielonej herbaty (ang. Matcha), taurynę, N-acetyl-L-tyrozynę, naturalną kofeinę (100 mg) oraz witaminę B6 i magnez. Zawiera substancje słodzące: sukralozę oraz acesulfam K. Nie zawiera cukrów oraz ma niską wartość energetyczną – 3 kcal w 330 ml
II	Żel	Zawiera 21 g węglowodanów (maltodekstryna), 75 mg kofeiny i substancje słodzące (acesulfam-K, sukraloza)
III	Żel	Zawiera 50 mg kofeiny pochodzącej z ekstraktu z guarany, węglowodany: maltodekstryny, fruktozę, elektrolity: magnez, sód, potas. Ponadto ekstrakt z nasion guarany (łac. <i>Paullinia cupana Kunth.</i>), wit. B1
IV	Shot	Zawiera 200 mg kofeiny pochodzącej z guarany i yerba mate, sok z białych winogron, sok pomarańczowy, substancje słodzące: cyklaminy, acesulfam K, sukralozę, sacharyny
V	Shot	Zawiera 200 mg kofeiny, syrop cukru inwertowanego, ekstrakt z nasion guarany (łac. <i>Paullinia cupana Kunth.</i>), taurynę, L-tyrozynę, glukuronolakton, witaminy: wit. C, niacynę, wit. B6, kwas pantotenowy, wit. B12

Źródło: opracowanie własne.

Oznaczenie zawartości kofeiny

W celu określenia zawartości kofeiny w produktach najpierw sporządzono krzywą wzorcową dla kofeiny. W tym celu z roztworu wzorcowego o stężeniu 0,2 mg/ml wykonano następujące rozcieńczenia: 5-krotne (0,04 mg/ml), 10-krot-

ne (0,02 mg/ml), 15-krotne (0,0133 mg/ml), 20-krotne (0,01 mg/ml) i 25-krotne (0,008 mg/ml). Do pomiarów zastosowano metodę spektrofotometryczną. Absorbancje mierzono przy długości fali $\lambda = 273$ nm, charakterystycznej dla tej substancji. Równanie wyznaczonej krzywej wynosi: $y = 45,913x + 0,0412$. Analogiczne pomiary przeprowadzono dla pięciu analizowanych preparatów, a wyniki zostały umieszczone w Tabeli 2.

Oznaczenie całkowitej zawartości polifenoli (TP)

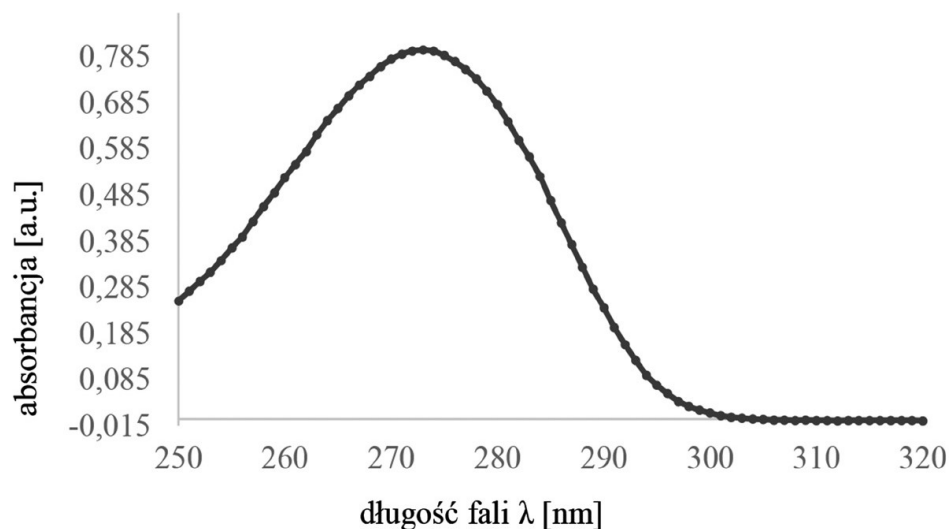
Oznaczenie wykonano metodą Folina-Ciocalteu (F-C) wraz z modyfikacjami oraz metodą spektrofotometryczną (spektrofotometr UV-Vis Evolution 60). Technika ta bazuje na reakcji barwnej pomiędzy odczynnikiem F-C a związkami fenolowymi. Odczynnik F-C zawiera: dwuwodny molibdenian sodowy, dwuwodny wolframian sodowy, siarczan litu, wodę bromową i stężone kwasy: solny i fosforowy. W efekcie połączenia tych składników powstaje heteropolifosfwolframian molibdenu, który zredukowany jest przez tworzący się w środowisku alkalicznym anion fenolowy do związku odpowiedzialnego za niebieskie zabarwienie roztworu. Maksimum absorpcji dla związku powstałego na skutek reakcji redoks obserwujemy przy długości fali $\lambda = 765$ nm. Jako standardu użyto wodnego roztworu kwasu galusowego o stężeniu 0,5 g/100 ml (roztwór wyjściowy). Obliczenia zostały wykonane na podstawie równania otrzymanego dla krzywej wzorcowej wykonanej dla kwasu galusowego (równanie: $y = 0,011x - 0,0032$, gdzie y oznacza absorbancję próbki, zaś x – stężenie kwasu galusowego [mg/l]). Współczynnik determinacji wyniósł 0,99. Dla każdej próbki wykonano pomiar trzykrotnie.

Wyniki całkowitej zawartości polifenoli przedstawiono w mg ekwiwalentu kwasu galusowego na 100 ml próbki z uwzględnieniem odchylenia standardowego (Tabela 3).

Wyniki i dyskusja

Jedną z najpowszechniej stosowanych klasycznych, instrumentalnych metod analitycznych jest spektroskopia UV-Vis (ang. *ultraviolet and visual light spectroscopy*). Jest to metoda absorpcyjna wykorzystująca promieniowanie w zakresie fal od 100 do 800 nm (zakres nadfioletu – UV oraz promieniowania widzialnego – Vis). Metoda ta pozwala zidentyfikować substancję oraz przeprowadzić oznaczanie zawartości substancji absorbujących w rutynowej analizie laboratoryjnej, a także określić strukturę cząsteczek [17]. Porównanie widm analizowanych próbek 1–5 wskazuje, że badane preparaty zawierają te same lub bardzo podobne pod względem zakresu absorpcji cząsteczki, jednakże w różnym stężeniu. Znaczący wpływ na lokalizację maksimum pasma absorpcji ma rozpuszczalnik oraz pH badanego roztworu [18].

Kofeina (biały, drobnokrystaliczny proszek $C_8H_{10}N_4O_2$) w wodzie wykazuje jedno charakterystyczne pasmo absorpcyjne w zakresie 243–302 nm (Rysunek 3).



Rysunek 3. Widmo UV-Vis kofeiny z maksimum dla $\lambda = 273$ nm, absorbancja = 0,8.

Figure 3. The ultraviolet-visible (UV-Vis) spectrum of caffeine exhibits a maximum at a wavelength of 273 nm, with an optical density of 0.8.

Źródło: opracowanie własne.

Analizowane suplementy diety różniły się liczbą składników. Według wskazań producenta wszystkie próbki zawierały kofeinę (maksimum absorpcji przy 273 nm), co potwierdziły oznaczenia, niemniej jednak w poszczególnych próbkach różna była jej zawartość. Preparatem o najmniejszej liczbie składników aktywnych jest próbka nr 2. Wszystkie pozostałe próbki zawierały – oprócz kofeiny i substancji słodzących – dodatkowe składniki, tj. ekstrakty roślinne, witaminy, składniki mineralne czy aminokwasy.

Wyniki analizy zawartości kofeiny przeliczone na 1 g preparatu zostały przedstawione w Tabeli 2 wraz z deklarowaną przez producenta ilością kofeiny w preparacie.

Tabela 2. Zawartość kofeiny oznaczona w 1 g preparatu w porównaniu do zawartości deklarowanej przez producenta.

Table 2. Caffeine content per 1 g of the preparation compared to the content declared by the manufacturer.

Nr próbki	Zawartość kofeiny [mg] w 1 g preparatu	Deklarowana zawartość kofeiny [mg] w 1 g preparatu
I	0,32	0,31
II	1,07	1,05
III	2,63	1,40
IV	9,14	6,90
V	11,26	7,93

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na obecność ekstraktów roślinnych w analizowanych produktach interesujące było oznaczenie całkowitej zawartości związków o charakterze polifenolowym (TP). Wyniki tej analizy przeliczone na ekwiwalent kwasu galusowego przedstawiono w Tabeli 3.

Tabela 3. Całkowita zawartość polifenoli [mg GAE/100 ml] w badanych preparatach.

Table 3. Total polyphenol content [mg GAE/100 ml] in the tested preparations.

Preparat	TP [mg GAE*100 ml ⁻¹]
I	7,91 ± 0,02
II	3,34 ± 0,01
III	41,25 ± 0,04
IV	4368,73 ± 3,64
V	75,25 ± 0,04

Źródło: opracowanie własne.

Najmniejszą zawartość polifenoli otrzymano dla próbki II ($3,34 \pm 0,01$ mg GAE/100 ml), która oprócz substancji słodzących i 75 mg kofeiny (według deklaracji producenta) nie zawierała żadnych dodatkowych składników. Największa zawartość związków polifenolowych została oznaczona dla próbki IV ($4368,73 \pm 3,64$ mg GAE/100 ml). Preparat ten obok 200 mg kofeiny, a więc zawartości 2,5-krotnie większej niż zawartość kofeiny w próbce II, zawierał również sok z białych winogron i sok pomarańczowy, co zdecydowanie odzwierciedla się w całkowitej zawartości polifenoli. Porównując skład preparatów oraz TP, można wnioskować, iż wartość TP nie zależy od dawki kofeiny, ale głównie od obecności mieszanin pochodzenia roślinnego.

Wyniki analizy próbek pod kątem występowania w nich polifenoli wykazały największą zawartość tej grupy związków w shotach. Pod tym względem zdecydowanie dominuje próbka IV (shot), w której za taki stan odpowiadają szczególnie bogate w polifenole: sok z białych winogron (z koncentratu) i sok pomarańczowy (z koncentratu), a także ekstrakt z herbaty mate (*Ilex paraguariensis*) oraz ekstrakt z nasion guarany (*Paullinia cupana*). W próbce III (żel) oraz próbce V (shot) źródłem polifenoli jest ekstrakt z nasion guarany. Natomiast próbka I (napój) zawiera tylko ekstrakt z zielonej herbaty – Matcha, który może stanowić źródło związków polifenolowych. Zgodnie z przewidywaniami najmniej polifenoli było w produkcie II, który według producenta nie zawierał żadnych naturalnych ekstraktów. Analiza ta pozwala oszacować dodatkowo właściwości antyoksydacyjne preparatów i plasują się one w kolejności wzrostowej następująco: II, I, III, V i IV.

Wymienione we wstępie zalety produktów zawierających kofeinę, przeznaczonych dla sportowców, są powodem ich częstego stosowania właśnie przez tę grupę. Preferowane są przede wszystkim napoje energetyczne, które zapewniają działanie energetyzujące, związane z obecnością nie tylko alkaloidów purynowych, ale i polifenoli. Powszechnie sądzi się również, że pomagają one nawodnić organizm, co jest bardzo istotne podczas długotrwałego, intensywnego wysiłku. O ile wynikający z obecności substancji pobudzających efekt energetyzujący jest działaniem rzeczywiście występującym, to jednak rzadko spotyka się napoje energetyczne, które mogą faktycznie nawadniać. Częściej wykazują one działanie odwadniające, dlatego zaleca się stosowanie dodatkowych napojów izotonicznych, których głównym zadaniem jest uzupełnienie wody oraz mikro- i makroelementów.

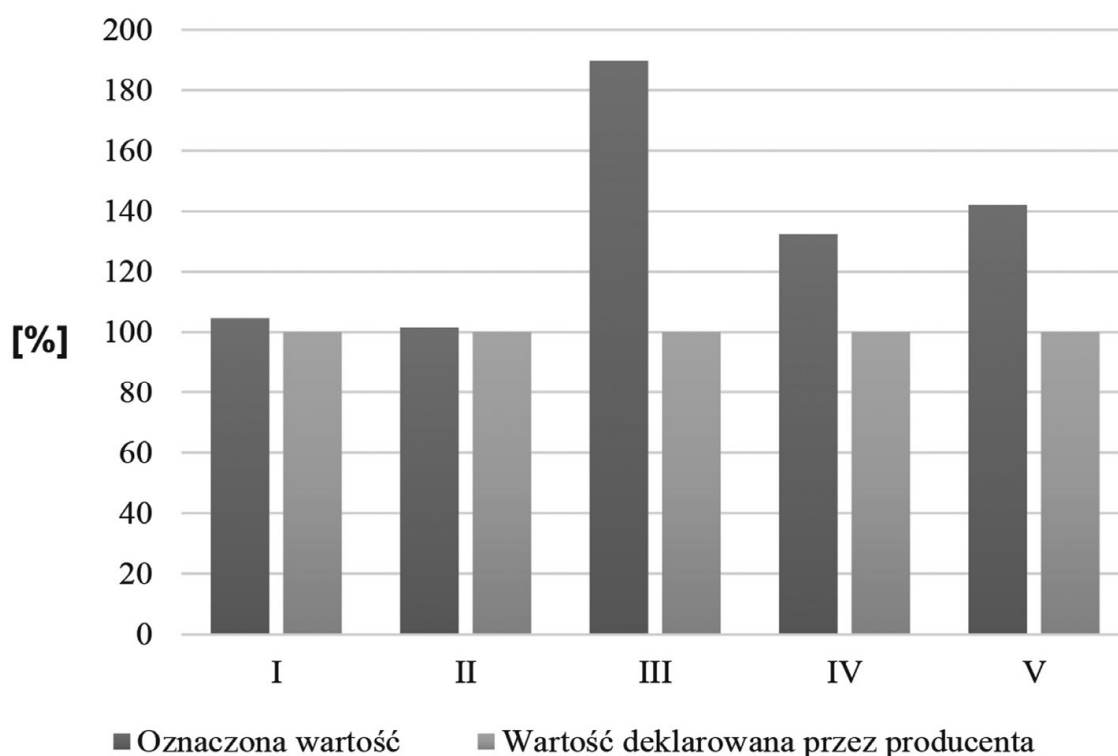
Na przykład w próbce **I** zawartość kofeiny to około 0,32 mg na 1 g produktu, co daje łączną ilość 104,54 mg kofeiny w opakowaniu. Aby nie przekroczyć bezpiecznej dawki, zalecane jest wypicie dziennie nie więcej niż 3 puszek tego napoju, gdy jest to jedyne źródło kofeiny danego dnia. W każdym innym przypadku należy dokonać korekty ilości, jaką można wypić, biorąc pod uwagę przyjętą już kofeinę. Przykładowo jedna filiżanka espresso (25–35 ml) zawiera około 65 mg kofeiny. Należy również uważać na ilość spożytych tego samego dnia kawowych słodczy. Na przykład jeden popularny cukierek kawowy może zawierać aż 25 mg kofeiny. Dla preparatu **I** niewielka różnica pomiędzy oznaczoną przez nas zawartością kofeiny a zawartością deklarowaną przez producenta może wynikać z nieuwzględnienia przez niego kofeiny obecnej w ekstrakcie z zielonej herbaty.

Stosowanie żeli (próbki **II** i **III**) wskazane jest przede wszystkim podczas długotrwałego i wzmożonego wysiłku fizycznego. Są one zalecane w takich dyscyplinach sportowych jak: bieg w maratonie, intensywna jazda na rowerze, triathlon, wioślarstwo, kajakarstwo, pływanie, narciarstwo biegowe czy sporty drużynowe. Producenci zalecają przyjęcie porcji żelu przed rozpoczęciem aktywności a następnie spożywanie kolejnych porcji w jej trakcie co około 40 min. Biorąc pod uwagę zawartość kofeiny w jednym opakowaniu (na ogół 40–70 mg), należy stwierdzić, iż zgodnie z tą wytyczną maksymalna długość wysiłku wspomaganego tego typu preparatami (żelami) nie powinna przekraczać 4 godzin, wykluczwszy inne źródła kofeiny. Opakowanie preparatu **II** według naszych badań zawiera ilość kofeiny (76,15 mg) zbliżoną do deklarowanej przez producenta (75 mg), więc zgodnie z podaną wyżej zasadą wysiłek z użyciem tego suplementu mógłby trwać 2 h 40 min.

Shoty energetyczne, które stanowią trzeci rodzaj analizowanych preparatów, są wskazane do spożycia tuż przed treningiem w celu zwiększenia jego efektywności poprzez poprawę koncentracji, wydolności czy też przez pobudzenie organizmu. Są to opakowania jednodawkowe – całą ich zawartość należy spożyć podczas jednego

podania, co oznacza, że jednorazowo przyjmuje się np. w preparacie **IV** 264,8 mg kofeiny (ilość deklarowana przez producenta – 200 mg) oraz w przypadku preparatu **V** – 283,9 mg (ilość deklarowana przez producenta – 200 mg). Objętość obydwu preparatów wynosi 25 ml. Tak skoncentrowana dawka niewątpliwie stanowi zastrzyk energii po około godzinie treningu (zapewniając osiągnięcie maksymalnego stężenia kofeiny we krwi). Efekt pobudzenia powinien utrzymywać się przez około 2 h (czas półtrwania). Jest to oczywiście uzależnione od typu metabolicznego osoby zażywającej shot (od tego, czy jest ona wolnym, czy szybkim metabolizerem) [14]. Ze względu na wysoką zawartość kofeiny nie zalecamy przyjmowania więcej niż jednego opakowania shota dziennie. Dodatkowo przy spożywaniu teiny z innych źródeł należy zachować się szczególną ostrożność, gdyż istnieje możliwość nieświadomego przekroczenia bezpiecznej dawki.

W przypadku preparatu nr **III** (żelu) wyznaczona zawartość kofeiny jest prawie dwukrotnie większa niż ta deklarowana przez producenta. Zawyżenie tej wartości jest wynikiem formulacji suplementu, która sprawiła, iż próbka charakteryzowała się dużą lepkością, jak również brakiem klarowności. W tym przypadku zastosowanie metody spektrofotometrycznej do oznaczenia zawartości substancji nie jest odpowiednie, gdyż brak klarowności zaburza pomiar (Rysunek 4).



Rysunek 4. Porównanie deklarowanej oraz oznaczonej w badaniu zawartości kofeiny [%] w analizowanych produktach.

Figure 4. Comparison of caffeine content [%] in the analysed products.

Źródło: opracowanie własne.

W 2007 r. w czasopiśmie „Analytical and Bioanalytical Chemistry” opublikowano wyniki analizy 53 suplementów diety dostępnych w USA. Produkty wybierano według kryterium obecności ekstraktów pochodzących z roślin, w których naturalnie występuje kofeina. By zapewnić wysoki poziom reprezentatywności próby, badania przeprowadzono na dwóch lub trzech partiach (pomijając przypadki, gdy zakup większej ilości partii nie był możliwy z przyczyn niezależnych od badaczy). Wyniki pomiarów z zastosowaniem wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) wykazały, że poziom kofeiny w 25 z 28 produktów (liczba produktów z etykietką umożliwiającą porównanie zawartości deklarowanej z badaną) średnio różnił się od opublikowanego przez producenta o około 16%, wskazując zarówno na wartość wyższą, jak i niższą w stosunku do wartości deklarowanej. W większości przypadków (72%) wyniki oznaczeń między partiami tego samego wytworu różniły się o mniej niż 10% [19].

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, iż formułacja preparatów ma znaczący wpływ na dobór metody badawczej. Preparaty różniły się także zawartością kofeiny oraz całkowitą zawartością polifenoli, co wskazuje na różny potencjał antyoksydacyjny produktów. We wszystkich próbkach obecna była kofeina zgodnie z deklarowaną dawką (z wyjątkiem próbki III). Przy wyborze środków energetyzujących należy pamiętać o tym, że podana zawartość kofeiny może być zaniżona ze względu na dodatkowe użycie mniej oczywistych źródeł kofeiny. Jeśli sięgamy po takie preparaty, warto jest wybrać te, w których składzie występują ekstrakty roślinne. Takie produkty zawierają również polifenole o korzystnym działaniu antyoksydacyjnym.

Biorąc pod uwagę mnogość preparatów zawierających kofeinę na rynku, jak i bardzo popularny zwyczaj picia kawy oraz różnych odmian herbaty, należałoby wprowadzić oznaczenia na preparatach energetyzujących, informujące o zawartości tego alkaloidu purynowego – przeliczonej na filiżanki kawy lub określającej, jaką część maksymalnej bezpiecznej dziennej dawki stanowi.

Literatura

- [1] Frankowski M., Kowalski A., Ociepa A., Siepak J., Niedzielski P., Kofeina w kawach i ekstraktach kofeinowych i odkofeinowanych dostępnych na polskim rynku, *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 2008, 1(41), s. 21–27.
- [2] Bojarowicz H., Przygoda M., Caffeine. Part I. Common use of caffeine and its effect on human organism, *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 2017, 98(3), s. 285–289.

- [3] Loftfield E., Freedman N.D., Dodd K.W., Vogtmann E., Xiao Q., Sinha R., Graybeard B., Coffee Drinking Is Widespread in the United States, but Usual Intake Varies by Key Demographic and Lifestyle Factors, *The Journal of Nutrition*, 2016, 146(9), s. 1762–1768.
- [4] Fanarioti V., Europe vs the US: Breaking down differences in coffee consumption, 2023, <https://perfectdailygrind.com/2023/06/europe-vs-us-coffee-consumption-trends/>
- [5] Rejestr produktów objętych powiadomieniem o pierwszym wprowadzeniu do obrotu. Państwowa Inspekcja Sanitarna, <https://www.gov.pl/web/gis/elektroniczny-sytem-powiadomien-powiadomienie-o-wprowadzeniu-po-raz-pierwszy-do-obrotu-suplementy-diety-zywnosc-wzbogacana-zywnosc-dla-okreslonych-grup>.
- [6] Dworzański W., Burdan F., Szumiło M., Jaskółka A., Anielska E., Kawa i kofeina – wrogowie czy sprzymierzeńcy kardiologa?, *Kardiologia Polska*, 2011, 69(2), s. 173–176.
- [7] Bilondi H.T., Valipour H., Khoshro S., Jamilian P., Ostadrahimi. A., Zarezadeh M., The effect of caffeine supplementation on muscular strength and endurance: A meta-analysis of meta-analyses, *Heliyon* 2024, 10(15), s. 35025.
- [8] Ruiz-Moreno C., Gutiérrez-Hellin J., Lara B., Del Cost J., Effect of caffeine on muscle oxygen saturation during short-term all-out exercise: a double-blind randomized crossover study, *European Journal of Nutrition*, 2022, 61, s. 3109–3117.
- [9] Ferré S., Role of the Central Ascending Neurotransmitter Systems in the Psychostimulant Effects of Caffeine, *Journal of Alzheimer's Disease*, 2010, 20, s. 35–49.
- [10] Tarnopolsky M.A., Caffeine and Creatine Use in Sport, *Annals of Nutrition & Metabolism*, 2011, 57 (Supl. 2), s. 1–8.
- [11] Nakabayashi H., Hashimoto T., Ashida H., Nishiumi S., Kanazawa K., Inhibitory effects of caffeine and its metabolites on intracellular lipid accumulation in murine 3T3-L1 adipocytes, *BioFactors*, 2009, 34(4), s. 293–302.
- [12] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) (2011) Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to caffeine and increased fat oxidation leading to a reduction in body fat mass (ID 735, 1484), increased energy expenditure leading to a reduction in body weight (ID 1487), increased alertness (ID 736, 1101, 1187, 1485, 1491, 2063, 2103) and increased attention (ID 736, 1485, 1491, 2375) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006, *EFSA Journal*, 2011, 9(4), s. 2054.
- [13] Wierzejska R., Kofeina – powszechny składnik diety i jej wpływ na zdrowie, *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 2012, 63(2), s. 141–147.
- [14] Addicott M.A., Laurienti P.J., A comparison of the effects of caffeine following abstinence and normal caffeine use, *Psychopharmacology*, 2009, 207(3), s. 423–431.
- [15] Antonio J., Newmire D.E., Stout J.R., Antonio B., Gibbons M., Lowery L.M., Harper J., Willoughby D., Evans C., Anderson D., Goldstein E., Rojas J., Monsalves-Álvarez M., Forbes S.C., Lopez J.G., Ziegenfuss T., Moulding B.D., Candow D., Sagner M., Arent S.M., Common questions and misconceptions about caffeine supplementation: what does the scientific evidence really show?, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2024, 21(1), s. 2323919.

- [16] Anikiel S., Zastosowanie spektrofotometrii UV-Vis oraz chromatografii cienkowarstwowej w analizie wybranych związków fenolowych i alkaloidów purynowych o właściwościach redukujących, 2007, praca doktorska.
- [17] Takayanagi T., Nishiuchi M., Ousaka M., Oshima M., Motomizu S., Monitoring of vitamin C species in aqueous solution by flow injection analysis coupled with an on-line separation with reversed-phase column, *Talanta*, 2009, 79(4), s. 1055–1060.
- [18] Macrae R., Nitrogenous Components, [w:] *Coffee*, vol 1, Chemistry, (red.) R.J. Clarke, R. Macare, wyd. Elsevier Applied Science, London, New York 1985, s. 115–152.
- [19] Andrews K.W., Schweitzer A., Zhao C., Holden J.M., Roseland J.M., Brandt M., Dwyer J.T., Picciano F., Saldanha L.G., Fisher K.D., Yetley E., Betz J.M., Douglass L., The caffeine contents of dietary supplements commonly purchased in the US: analysis of 53 products with caffeine-containing ingredients, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2007, 389, s. 231–239.