

## **Kofeina jako kluczowy składnik suplementów diety dla sportowców**

### **Caffeine as a key ingredient in dietary supplements for athletes**

Klaudia Bernat<sup>1</sup>, Iwona Mystkowska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akademia Bialska im. Jana Pawła II, Regionalne Centrum Badań EKO-AGRO-TECH, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

<sup>2</sup> Akademia Bialska im. Jana Pawła II, Wydział Nauk o Zdrowiu, Zakład Dietetyki, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

---

**Słowa kluczowe:** suplementy diety, kofeina, suplementy dla sportowców

**Keywords:** dietary supplements, caffeine, supplements for athletes

---

### **Streszczenie**

W ostatnich latach rośnie zainteresowanie zdrowym stylem życia i atrakcyjną sylwetką, co wiąże się z większym wykorzystywaniem suplementów diety, które mają wspierać osiągnięcie tych celów. Suplementy diety są stosowane w celu uzupełniania codziennej diety i dostarczania organizmowi niezbędnych składników odżywczych, co jest szczególnie istotne w przypadku intensywnego trybu życia sportowców. Według klasyfikacji Australijskiego Instytutu Sportu (AIS) suplementy diety dzielą się na cztery grupy: zalecane, do rozważenia, niekorzystne oraz zabronione. Przemysł suplementów diety dynamicznie rośnie, oferując szeroki wybór produktów, w tym te z kofeiną, które wykazują różne właściwości i w różny sposób wpływają na ich konsumentów – w zależności od intensywności ćwiczeń oraz indywidualnych reakcji organizmu. Kofeina jest jednym z najczęściej stosowanych składników, wspomagającym wydolność fizyczną, poprawiającym koncentrację i opóźniającym moment, w którym odczuwalne jest zmęczenie. Jest ona również wykorzystywana w procesie odchudzania, gdyż wspomaga metabolizm i spalanie tłuszczu. Jednak nadmierne jej spożycie może prowadzić do problemów zdrowotnych, takich jak zaburzenia snu czy niepokój. Badania nad zawartością kofeiny w suplementach wskazują, że między produktami mogą występować różnice w jej ilości, nawet jeśli nie są one podane na etykiecie. Wartości te są różne w zależności od składników produktów, co podkreśla potrzebę dokładniejszego oznaczania zawartości kofeiny na opakowaniach, aby konsument mógł świadomie kontrolować jej spożycie.

### **Summary**

In recent years, there has been a growing interest in a healthy lifestyle and an attractive physique, which is associated with an increased use of dietary supplements that support the achievement of these goals. Dietary supplements are used to complement the daily diet

and provide the body with essential nutrients, particularly in the context of the intense lifestyle of athletes. According to the classification of the Australian Institute of Sport (AIS), dietary supplements are divided into four groups: recommended, to be considered, harmful, and prohibited. The dietary supplement industry is rapidly growing, offering a wide range of products, including those containing caffeine, which have various properties depending on the intensity of exercise and individual responses of the body. Caffeine is one of the most commonly used ingredients that enhances physical performance, improves concentration, and delays fatigue. Caffeine is also used in the weight loss process, supporting metabolism and fat burning. However, excessive caffeine intake can lead to health problems such as sleep disorders or anxiety. Studies on the caffeine content in supplements indicate that there may be differences in its amount between products, even if it is not stated on the label. These values vary depending on the ingredients, highlighting the need for more accurate labeling of caffeine content on packaging so that consumers can consciously control their intake

## **Suplementy diety**

W ostatnich latach zauważalny jest wzrost zainteresowania zdrowym stylem życia oraz dbałością o atrakcyjną sylwetkę. Aby osiągnąć te cele, kluczowe są nie tylko regularne ćwiczenia, ale także odpowiednio zbilansowana dieta. Współczesny tryb życia, często związany z intensywną pracą zawodową, może nie sprzyjać przygotowywaniu zdrowych posiłków, co skłania sportowców do korzystania z suplementów diety. Produkty te mają na celu dostarczenie organizmowi skoncentrowanej energii oraz niezbędnych składników odżywczych, a także innych substancji bioaktywnych.

Według definicji suplement diety jest to produkt, który spożywany jest celowo i w ustalony sposób jako uzupełnienie codziennej diety, a służyć ma uzyskaniu określonych korzyści dla zdrowia i stanu funkcjonalnego organizmu [1, 2]. Suplementy diety to preparaty zawierające substancje, które mogą uzupełniać codzienną dietę, szczególnie w zakresie witamin, związków mineralnych i innych składników odżywczych, których podaż z pożywienia może być niewystarczająca. Zazwyczaj mają formę skoncentrowanych tabletek, kapsułek, proszków lub płynów, co umożliwia precyzyjne dawkowanie. Suplementy diety często dostępne są w aptekach, co może budzić skojarzenia z lekami. Warto jednak podkreślić, że w Unii Europejskiej nie są one klasyfikowane jako produkty lecznicze. W Polsce za dopuszczenie suplementów diety do obrotu odpowiada Główny Inspektorat Sanitarny, podczas gdy Główny Inspektorat Farmaceutyczny oraz Urząd Rejestracji Leków zajmują się wyłącznie lekami [3–5]. Suplementy diety mogą dostarczać wysokie stężenia składników odżywczych lub innych substancji bioaktywnych, mających na celu uzupełnienie codziennej diety lub wpływanie na procesy fizjologiczne organizmu. Należy

jednak pamiętać, że nie mogą być one traktowane jako leki i nie mogą zawierać twierdzeń dotyczących zapobiegania, diagnozowania czy leczenia chorób u ludzi. Ponieważ suplementy diety nie podlegają szczegółowym procedurom oceny przed wprowadzeniem na rynek, nie wymagają wcześniejszej akceptacji ani weryfikacji w zakresie bezpieczeństwa. Z tego względu producenci powinni przestrzegać wysokich standardów jakości podczas całego procesu produkcji, pakowania, etykietowania i przechowywania tych produktów [6].

W środowisku specjalistów zajmujących się żywieniem sportowców uznana jest klasyfikacja Australijskiego Instytutu Sportu (Australian Institute of Sport – AIS), który na podstawie analizy badań naukowych podzielił suplementy na cztery grupy [7]:

A. Suplementy zalecane sportowcom w określonych sytuacjach ze względu na udowodnione działanie wspomagające. Do grupy tej należy:

- Żywność sportowa, czyli specjalistyczne produkty stosowane w celu zapewnienia wygodnego źródła składników odżywczych, gdy spożycie zwykłych produktów spożywczych jest niewygodne.

Przykłady to: napoje izotoniczne, żele sportowe, słodczyce sportowe, batony energetyczne, suplementy elektrolitowe, izolowane suplementy białkowe oraz suplementy z mieszanymi makroskładnikami (batony, proszki, napoje posiłkowe).

- Suplementy medyczne, czyli suplementy stosowane w celu zapobiegania lub leczenia problemów zdrowotnych, w tym rozpoznanych niedoborów składników odżywczych.

Przykłady to: żelazo, wapń, multiwitamina, probiotyki, witamina D oraz cynk.

- Suplementy wspomagające wydolność, czyli suplementy lub ich składniki składniki, które mogą wspierać lub poprawiać wyniki sportowe.

Przykłady to: kofeina,  $\beta$ -alanina, azotany pokarmowe/ sok z buraka, wodorowęglan sodu, kreatyna oraz glicerol.

B. Suplementy, których podawanie sportowcom należy rozważyć w aspekcie wyników badań naukowych. Do tej grupy należą:

- Polifenole w żywności, czyli obecne w niej związki, które mogą wykazywać aktywność biologiczną, w tym właściwości antyoksydacyjne i przeciwzapalne. Przykładem są polifenole pochodzenia roślinnego.

- Antyoksydanty – związki występujące często w żywności, które chronią organizm przed uszkodzeniami oksydacyjnymi spowodowanymi przez wolne rodniki.

Przykładem jest witamina C.

- Substancje smakowe, czyli związki pochodzenia spożywczego, które oddziałują z receptorami w jamie ustnej/jelicie, aktywując centralny układ nerwowy.

Przykłady to: mentol, sok z kiszonych ogórków, chinina.

- Inne związki, które wzbudzają zainteresowanie ze względu na potencjalne korzyści dla funkcjonowania ciała, jego integralności i/lub metabolizmu.

Przykłady to: wsparcie dla kolagenu, karnityna, suplementy ketonowe, oleje rybne, kurkumina oraz N-acetylocysteina.

- C. Suplementy, co do których istnieją poważne przesłanki naukowe, że ich przyjmowanie nie przynosi sportowcom korzyści i raczej nie powinny być przez nich stosowane.

Przykłady to: magnez, kwas alfa-liponowy, HMB, BCAA/leucyna, fosforany, prebiotyki, witamina E oraz tyrozyna.

- D. Suplementy, których sportowcy nie powinni przyjmować ze względu na to, że albo zawierają substancje zabronione, albo istnieje duże ryzyko, iż są zanieczyszczone środkami dopingującymi. Do tej grupy należą: stymulanty, prohormony i suplementy wspomagające hormony, środki stymulujące wydzielanie hormonu wzrostu, selektywne modulatory receptora androgenowego (SARMs), modulatory metabolizmu i inne, niezalecane przez Światową Agencję Antydopingową [7].

Lista substancji w poszczególnych grupach może się zmieniać w miarę postępu badań naukowych dotyczących tych suplementów.

Przemysł suplementów diety to dynamicznie rozwijający się rynek, oferujący szeroką gamę produktów [8]. Rosnące ich spożycie jest ściśle związane z marketingowymi zapewnieniami, które obiecują poprawę ogólnego stanu zdrowia, zwiększenie poziomu energii oraz wspomaganie procesu odchudzania. Do tego trendu również przyczynia się rosnąca troska o kondycję fizyczną i wyniki sportowe.

Tscholl i wsp. [9] przeprowadzili szczegółową analizę stosowania leków oraz suplementów diety przez sportowców podczas kontroli antydopingowych, które miały miejsce w ramach mistrzostw świata w lekkoatletyce. W badaniu oceniono 3887 kwestionariuszy, które zostały zebrane podczas tych zawodów. Wyniki analizy wykazały, że średnio każdy sportowiec przyjmował 1,7 suplementu diety dziennie [9].

Goston i Correia [10] wykonali badanie ankietowe, które miało na celu ocenę rozpowszechnienia stosowania suplementów diety wśród osób ćwiczących na 50 siłowniach w Brazyli oraz analizę czynników wpływających na ich używanie. Wyniki pokazały, że suplementy przyjmowało 36,8% uczestników, przy czym stosowanie ich związane było z płcią, wiekiem i okresem uprawiania sportu. Mężczyźni zażywali więcej suplementów niż kobiety, a osoby młodsze i ćwiczące dłużej niż rok częściej sięgały po suplementy niż pozostali. Najczęściej stosowane były suplementy białkowe i aminokwasy (58% uczestników), a także multiwitaminy, związki mineralne i środki fitoterapeutyczne. Ponadto 43,5% osób przyjmowało jednocześnie dwa lub więcej produktów [10].

## Suplementy diety z kofeiną

Wśród sportowców jednymi z najczęściej wybieranych produktów stały się suplementy przedtreningowe. Suplementy przedtreningowe to takie, które stosuje się przed treningiem w celu poprawy wydolności fizycznej. Zawierają one zwykle mieszankę składników, takich jak aminokwasy rozgałęzione, cytrulina, tauryna, kreatyna oraz przede wszystkim kofeina [11]. Suplementy zawierające kofeinę są szczególnie ważne z uwagi na swoje właściwości poprawiające wydolność fizyczną, które mogą być różne w zależności od rodzaju i intensywności ćwiczeń oraz indywidualnej reakcji organizmu na kofeinę. Kofeina, uważana powszechnie za substancję bezpieczną, ma udowodnioną zdolność do poprawy wydolności, czasu reakcji, wytrzymałości mięśniowej, siły izometrycznej, mocy anaerobowej, opóźniania zmęczenia oraz wspomagania wzrostu masy mięśniowej [8, 11, 12].

Zgodnie z wytycznymi Australijskiego Instytutu Sportu (Australian Institute of Sport – AIS), kofeina zalicza się do grupy A, co oznacza, że jest to suplement, który w określonych sytuacjach może być szczególnie korzystny dla sportowców, dzięki udowodnionemu pozytywnemu wpływowi na wydolność organizmu [7].

Kofeina to naturalna substancja psychoaktywna, która należy do grupy alkaloidów purynowych. Jest organicznym związkiem chemicznym o wzorze sumarycznym  $C_8H_{10}N_4O_2$  [13]. Występuje w różnych roślinach, takich jak kawa, herbata, kakao, guarana czy yerba mate. Jest obecna w wielu napojach, w tym w kawie, herbacie, napojach energetycznych oraz napojach gazowanych [14]. Kofeina to naturalny stymulant ośrodkowego układu nerwowego, który jest szybko wchłaniany przez organizm. Dzięki temu, że rozpuszcza się w tłuszczach, łatwo przekracza barierę krew–mózg. Działając jako antagonist receptoru adenylicznego, kofeina zwiększa uwalnianie neuroprzekaźników, takich jak acetylocholina i noradrenalina, co prowadzi do wzrostu pobudzenia i zmniejszenia uczucia zmęczenia. Ponadto pełni ona rolę środka erogogenicznego, wspomagając mobilizację kwasów tłuszczowych i zmieniając sposób wykorzystania energii na taki, podczas którego następuje spalanie tłuszczów zamiast glikogenu. Dzięki rozprzestrzenianiu się w układzie centralnym i obwodowym kofeina może wpływać na różne mechanizmy poprawiające wydajność organizmu. W przeciwieństwie do innych substancji, takich jak  $\beta$ -alanina, kofeina cieszy się szerokim uznaniem jako skuteczny środek wspomagający osiągnięcie lepszych wyników, szczególnie w sportach wymagających wysiłku aerobowego [15–17].

Suplementy diety i napoje zawierające kofeinę mają na celu poprawę energii, wydajności fizycznej oraz koncentracji. Po spożyciu kofeina szybko wchłania się do organizmu i trafia do różnych tkanek. Po około 30–60 min od spożycia jej stężenie we krwi osiąga najwyższy poziom. Czas utrzymywania się kofeiny w organizmie jest różny, a zależy od dawki i indywidualnych cech metabolizmu. Zazwyczaj jej

okres półtrwania wynosi od 2 do 10 godzin, a niewielka część kofeiny wydalana jest z moczem w postaci niezmienionej. Kofeina jest metabolizowana przede wszystkim w wątrobie, a jej główne produkty przemiany to paraksantyna, teobromina i teofyllina. W jej metabolizmie mogą brać udział także mózg i nerki. Na tempo metabolizmu kofeiny wpływają różne czynniki, takie jak płeć, genetyka, dieta, aktywność fizyczna, częstotliwość jej spożywania i stosowanie leków. Na przykład ćwiczenia mogą przyspieszyć metabolizm kofeiny, podczas gdy alkohol czy choroby wątroby mogą go spowolnić. Istnieją różne opinie na temat bezpieczeństwa łączenia napojów z kofeiną z alkoholem. Po 3–6 godzinach od spożycia stężenie kofeiny we krwi zazwyczaj spada o 50–75% [6].

### **Historia suplementów diety z kofeiną**

Problemy związane z zawartością kofeiny w suplementach diety zaczęły być zauważane w latach 70. XX w., kiedy to syntetyczne kombinacje kofeiny, efedryny i fenylopropanolaminy stały się popularne jako środki wspomagające odchudzanie i zwiększające energię. Zyskały one złą sławę „sobowtórów amfetaminy”, gdyż wiązały się z licznymi przypadkami poważnych problemów zdrowotnych, takich jak zawały serca i udary, szczególnie wśród młodych dorosłych. W odpowiedzi na te zagrożenia w 1982 r. Agencja Żywności i Leków (ang. Food and Drug Administration – FDA) zakazała sprzedaży tych substancji bez recepty. W 1994 r. ustawa określająca ramy regulacyjne dotyczące bezpieczeństwa, etykietowania i reklamowania suplementów diety (DSHEA Dietary Supplement Health and Education Act) wprowadziła nową kategorię produktów – suplementy diety zawierające kofeinę. W tym czasie pojawiły się preparaty z efedryną, kofeiną i innymi roślinnymi ekstraktami, które działały jak naturalne „sobowtóry amfetaminy”. Dzięki lukom prawnym, które pozwalały na wykorzystywanie roślinnych źródeł kofeiny i efedryny, suplementy te były dostępne na rynku, mimo wcześniejszych zakazów FDA dotyczących syntetycznych kombinacji tych substancji.

Z czasem pojawiły się produkty wolne od efedryny, ale nadal zawierające wysokie dawki kofeiny, oraz inne substancje aktywne, co prowadziło do nowych obaw o bezpieczeństwo. Produkty te były reklamowane jako środki wspomagające odchudzanie i zwiększające energię, ale brak precyzyjnych informacji o zawartości kofeiny na etykietach stwarzał ryzyko nieoczekiwanych efektów ubocznych. Równocześnie z rozwojem suplementów diety wolnych od efedryny na rynku zaczęły pojawiać się napoje energetyczne, które szybko zyskały popularność, zwłaszcza wśród młodych ludzi. Zawierały one wysokie dawki kofeiny oraz inne składniki aktywne, co zwiększyło liczbę zgłoszeń o negatywnych skutkach zdrowotnych. Choć napoje energetyczne różnią się od tradycyjnych gazowanych napojów kofeinowych, ich nadmier-

ne spożycie, szczególnie w połączeniu z alkoholem, budzi obawy wśród specjalistów w zakresie zdrowia. Wzrost spożycia kofeiny, związany z popularnością suplementów diety i napojów energetycznych, doprowadził do powstania tzw. kultury kofeiny. Pomimo szerokich badań nad kofeiną wciąż niewiele wiadomo o tolerancji i skuteczności produktów zawierających ten organiczny związek chemiczny w połączeniu z innymi składnikami roślinnymi [12, 18].

### **Korzystne działanie kofeiny w suplementach diety**

Kofeina jest substancją, która działa na organizm pobudzająco, poprawiając czujność, koncentrację oraz redukując uczucie zmęczenia i senności. Dzięki tym właściwościom jest szeroko stosowana w celu poprawy wydajności umysłowej i fizycznej, co czyni ją przedmiotem zainteresowania osób trenujących, chcących zwiększyć swoje wyniki sportowe. Kofeina jest również obecna w wielu suplementach diety, gdyż wspomaga metabolizm i może przyczynić się do procesu odchudzania. Ponadto może zmniejszać apetyt i wspierać termogenezę, co prowadzi do większego wydatku energetycznego w organizmie za sprawą zwiększonej produkcji ciepła. Te efekty mogą wspomagać spalanie tłuszczu i redukcję wagi. Należy jednak pamiętać, że nadmierne spożycie kofeiny może wywołać skutki negatywne, takie jak problemy ze snem, niepokój, rozdrażnienie czy zaburzenia pracy serca [11, 15, 19].

Umiarkowane spożycie kofeiny może w wielu przypadkach przejściowo podnieść ciśnienie krwi i odruchowo obniżyć częstotliwość rytmu serca. Jednakże długotrwałe jej spożywanie może prowadzić do rozwoju tolerancji farmakologicznej na niektóre efekty jej działania na ośrodkowy układ nerwowy. Organizm może przyzwyczaić się do jej skutków, zwłaszcza tych związanych z ośrodkowym układem nerwowym, takich jak pobudzenie, zwiększona czujność czy poprawa nastroju. Tolerancja oznacza, że po jakimś czasie organizm przestaje reagować na nie w tak silny sposób jak na początku – w rezultacie dana osoba musi spożywać większe ilości kofeiny, aby uzyskać podobny efekt. Jednakże w odniesieniu do wpływu kofeiny na układ sercowo-naczyniowy (np. przyspieszenie akcji serca, podwyższenie ciśnienia krwi) tolerancja nie rozwija się w taki sam sposób. Oznacza to, że mimo długotrwałego spożywania kofeiny jej wpływ na serce i naczynia krwionośne może pozostać taki sam, efekt ten nie słabnie w miarę upływu czasu [18, 20].

### **Zbyt wysokie dawki kofeiny w suplementach diety**

Badania wskazują, że niskie dawki kofeiny (około 3 mg/kg masy ciała, do 200 mg) są bezpieczne i mogą pozytywnie wpłynąć na wyniki sportowe, jeśli zostaną przyjęte 10–40 min przed wysiłkiem fizycznym [21, 22]. Taką ilość kofeiny można

łatwo uzyskać poprzez wypicie jednej lub dwóch filiżanek kawy bądź skorzystanie z suplementów zawierających kofeinę. Warto jednak pamiętać, że zgodnie z wytycznymi Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (European Food Safety Authority – EFSA) [23] bezpieczna maksymalna dzienna dawka kofeiny dla dorosłych osób w populacji ogólnej wynosi 400 mg. Warto również zaznaczyć, że większe ilości kofeiny mogą prowadzić do niekorzystnych skutków zdrowotnych, takich jak tachykardia, podwyższone ciśnienie krwi, drażliwość, nerwowość oraz stany lękowe. Przy spożyciu bardzo wysokich dawek (ponad 2000 mg) mogą wystąpić poważne reakcje, takie jak wymioty, groźne nadciśnienie, arytmie, drgawki, a w skrajnych przypadkach nawet śmierć [18, 23, 24]. Niemniej jednak osoby wrażliwe na kofeinę mogą doświadczać niepożądanych reakcji po przyjęciu mniejszych ilości [18].

W artykule autorstwa Eichnera [25] przedstawione zostały przypadki śmiertelnego przedawkowania kofeiny. Opisano sekcję zwłok 18-letniego ucznia, która wykazała wysoki poziom kofeiny we krwi (powyżej 70 mg/l), co doprowadziło do arytmii serca i drgawek. Znaleziono także torebkę z proszkiem kofeiny, który mógł być stosowany jako suplement przedtreningowy. Podobnie było w przypadku 39-letniego mężczyzny, który zmarł po zażyciu dużej ilości kofeiny, co zostało potwierdzone przez poziom 350 mg/l we krwi. Przykłady te pokazują, jak niebezpieczne może być nadmierne spożycie tej substancji, szczególnie w postaci skoncentrowanych suplementów, takich jak proszek kofeinowy. Eichner zwraca uwagę na rosnące zagrożenie związane z tymi produktami, których niewłaściwe dawkowanie może prowadzić do tragicznych konsekwencji zdrowotnych [25].

Przypadki śmiertelnego przedawkowania kofeiny opisują również Kerrigan i Lindsey [26]. Na przykład taki: kobieta z historią nadużywania narkotyków miała we krwi 192 mg/l kofeiny. Kofeina może być stosowana do rozdrabniania lub rozcieńczania narkotyków. Autopsja nie ujawniła innych nieprawidłowości i jej zgon mógł być związany z zatruciem kofeiną. Z kolei mężczyzna z chorobą cukrzycową i otyłością zmarł po przedawkowaniu kofeiny (567 mg/l). Wysokie stężenie kofeiny wskazuje na niewłaściwe użycie suplementu diety. Zgon nastąpił po zatruciu kofeiną, w wyniku drgawek i zapaści sercowo-naczyniowej. W obu przypadkach głównym czynnikiem prowadzącym do śmierci była kofeina [26].

## **Sposoby oznaczania kofeiny w suplementach diety**

Suplementy diety zawierające kofeinę mogą przynieść korzyści, takie jak poprawa wydolności fizycznej i umysłowej. Jednak ich stosowanie wiąże się również z ryzykiem, zwłaszcza przy nadmiernym spożyciu, które może prowadzić do negatywnych skutków zdrowotnych. Dlatego kluczowe jest spożywanie kofeiny z umiarem i zgod-

nie z zaleceniami producentów. Warto także pamiętać, że reakcja organizmu na kofeinę może być różna w zależności od indywidualnej wrażliwości. Z tego względu rośnie zapotrzebowanie na odpowiednie metody analityczne, które pozwalają ocenić jakość, skuteczność i bezpieczeństwo suplementów diety, szczególnie pod kątem zawartości kofeiny.

Andrews i wsp. [27] w ramach badań przeprowadzili analizę próbek suplementów diety, które zawierały kofeinę. Produkty zostały wybrane z różnych kanałów sprzedaży, takich jak sklepy ze zdrową żywnością, supermarkety, sprzedaż internetowa oraz sprzedaż prowadzona przez kluby fitness. Do analizy wybrano 75 próbek suplementów w różnych formach (tabletki, kapsułki), które były następnie poddane badaniu laboratoryjnemu pod kątem zawartości kofeiny. Analizowano je przy pomocy wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC), a także przy użyciu standardowych materiałów referencyjnych z NIST (Narodowy Instytut Standaryzacji i Technologii). Zastosowano metodyczne podejście, by uzyskać dokładne i powtarzalne wyniki. Głównym celem było uzyskanie rzetelnych danych na temat zawartości kofeiny w suplementach, które mogą wpływać na zdrowie konsumentów.

W badaniu przeanalizowano zawartość kofeiny w suplementach diety, które zostały podzielone na dwie grupy: produkty z podaną ilością kofeiny na etykiecie oraz produkty, w których poziom kofeiny nie został określony. Wyniki pokazały, że średni poziom kofeiny w suplementach, które zawierały informację na etykiecie, wynosił 351 mg na dzień, a dla produktów, które nie miały tej informacji, średni poziom kofeiny wynosił 142 mg na dzień. Ponadto przeprowadzono porównanie rzeczywistego poziomu kofeiny z tym podanym na etykiecie. Okazało się, że 89% analizowanych produktów miało poziom kofeiny, który mieścił się w granicach  $\pm 16\%$  wartości podanej na etykiecie. W trzech przypadkach różnice były znaczne, gdyż wynosiły od  $-56\%$  do  $+73\%$ . Analiza składników na etykietach, takich jak guarana, yerba mate czy kofeina, wskazała, że produkty, które zawierały te informacje, miały wyższy poziom kofeiny niż te, na opakowaniu których nie podano tych składników. Szczególnie produkty z guaraną, choć nie zawsze zawierające kofeinę, miały wyższy poziom kofeiny niż produkty, które nie miały żadnych wskazówek dotyczących składników roślinnych. Wnioski z badania sugerują, że wiele suplementów diety zawiera kofeinę, ale nie zawsze producent informuje o tym na etykiecie, nawet jeśli jej ilość jest znaczna. Dodatkowo produkty zawierające roślinne źródła kofeiny, takie jak guarana, mogą zawierać jej znaczne ilości, co nie zawsze jest uwzględnione w oznaczeniu na opakowaniu. Większość produktów miała poziom kofeiny zbliżony do podanego na etykiecie, ale były również wyjątki, które wykazywały większe różnice. Badanie podkreśla potrzebę bardziej precyzyjnego oznaczania zawartości kofeiny na etykietach suplementów diety, aby konsument mógł świadomie kontrolować jej spożycie [27].

W ostatnich latach pojawiły się także przenośne systemy chromatografii cieczowej LC, które zyskują na popularności, zwłaszcza w laboratoriach, ponieważ pozwalają na szybszą analizę i zapewniają mobilność. Soto i wsp. [28] opracowali metodę analizy kofeiny w suplementach diety za pomocą miniaturowego, przenośnego systemu chromatografii cieczowej. W swoim badaniu skupili się na optymalizacji warunków analizy oraz testowaniu tej technologii w kontekście produktów pochodzenia roślinnego, co stanowi innowacyjne podejście w tej dziedzinie. Okazało się, że w zoptymalizowanych warunkach metody laboratoryjne miały wyższą czułość, z granicami wykrywalności (LOD) wynoszącymi 0,01 i 0,003 µg/mL, podczas gdy przenośne urządzenie LC miało LOD na poziomie 1 µg/mL. Mimo to metoda przenośnego LC miała zalety – była szybsza (czas analizy poniżej 15 min) i prostsza w użyciu. Proponowana metoda zapewniała dobrą liniowość w zakresie 1–20 µg/mL i umożliwiała dokładne oznaczanie kofeiny, nawet w produktach wytworzonych z pozbawionego kofeiny ekstraktu zielonej kawy. Wyniki uzyskane za pomocą przenośnego LC były porównywalne z tymi otrzymanymi przy użyciu metod laboratoryjnych, a ich precyzja wynosiła 2–14%. Metoda ta mogłaby stanowić szybszą i prostszą alternatywę dla oceny jakości suplementów diety pod kątem zawartości kofeiny [28].

Podsumowując, suplementy diety stały się popularnym środkiem wspomagającym zdrowie i wyniki sportowe, co było efektem rosnącego zainteresowania aktywnym stylem życia. Choć stanowią one pomocne uzupełnienie diety, ich stosowanie powinno być przemyślane, zwłaszcza w przypadku suplementów zawierających kofeinę, której nadmiar może prowadzić do niekorzystnych skutków zdrowotnych. Warto również pamiętać, że suplementy nie zastępują zbilansowanej diety i regularnych ćwiczeń, a ich używanie powinno być dostosowane do indywidualnych potrzeb organizmu oraz zaleceń specjalistów. Konieczne jest przestrzeganie norm bezpieczeństwa, aby suplementacja nie stała się zagrożeniem dla zdrowia.

## Literatura

- [1] Frączek B., Krzywański J., Krysztofiak H., Dietetyka sportowa, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2019.
- [2] Ustawa o bezpieczeństwie żywności i żywienia z 25 sierpnia 2006 r. (Dz.U. ze zm.).
- [3] Powiatowa Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Piotrkowie Trybunalskim (bdw), Wymagania przy wprowadzaniu suplementów diety do obrotu, <https://www.gov.pl/web/psse-piotrkow-trybunalski/wymagania-przy-wprowadzaniu-suplementow-diety-do-obrotu> (dostęp: 10.02.2025).
- [4] Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Biobójczych (bdw), Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Biobójczych, <https://www.gov.pl/web/urpl> (dostęp: 30.01.2025).

- [5] Główny Inspektorat Farmaceutyczny (bdw), Główny Inspektorat Farmaceutyczny, <https://www.gov.pl/web/gif/glowny-inspektorat-farmaceutyczny> (dostęp: 25.01.2025).
- [6] Bessada S.M.F., Alves R.C., Oliveira M.B.P.P., Caffeine-based food supplements and beverages: Trends of consumption for performance purposes and safety concerns, *Food Research International*, 2018, 109, s. 310–319.
- [7] Australian Institute Of Sport (AIS) position statement: Supplements and sports foods in high performance sport, 2022.
- [8] Stanišić S., Dragičević N., Kilibarda N., Živković J., Caffeine content in dietary supplements: Hidden risks and implications for public health, *Journal of Food and Nutrition Research*, 2024, 63(3), s. 283–288.
- [9] Tscholl P., Alonso J. M., Dollé G., Junge A., Dvorak J., The use of drugs and nutritional supplements in top-level track and field athletes, *Drug and Nutritional Supplement Use in Athletics*, 2010, 38(1), s. 133–140.
- [10] Goston J.L., Correia M.I.T.D., Intake of nutritional supplements among people exercising in gyms and influencing factors, *Nutrition*, 2010, 26(6), s. 604–611.
- [11] Brandao da Costa B.R., El Haddad L.P., Freitas B.T., Marinho P.A., De Martinis B.S., Pre-workout supplements marketed in Brazil: Caffeine quantification and caffeine daily intake assessment, *Drug Testing and Analysis*, 2022, 14(3), s. 567–577.
- [12] Neves D.B. da J., Caldas E.D., Determination of caffeine and identification of undeclared substances in dietary supplements and caffeine dietary exposure assessment, *Food and Chemical Toxicology*, 2017, 105, s. 194–202.
- [13] Patil P.N., Caffeine in various samples and their analysis with HPLC – a review, *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 2012, 16(2), s. 76–83.
- [14] Kalisz O., Studzińska S., Bocian S.A., Determination of the caffeine content in dietary supplements according to green chemistry principles, *Foods*, 2023, 12(13), s. 2474.
- [15] Murphy M.J., Rushing B.R., Sumner S.J., Hackney A.C., Dietary supplements for athletic performance in women: Beta-alanine, caffeine, and nitrate, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2022, 32(4), s. 311–323.
- [16] Temple J.L., Bernard C., Lipshultz S.E., Czachor J.D., Westphal J.A., Mestre M.A., The Safety of Ingested Caffeine: A Comprehensive Review, *Frontiers in Psychiatry*, 2017, 8, s. 80.
- [17] de Paula J., Farah A., Caffeine consumption through coffee: Content in the beverage, metabolism, health benefits and risks, *Beverages*, 2019, 5(2), 37.
- [18] Gurley B.J., Steelman S.C., Thomas S.L., Multi-ingredient, caffeine-containing dietary supplements: History, safety, and efficacy, *Clinical Therapeutics*, 2015, 37(2), s. 275–301.
- [19] Tsvetkova D.D., Klisurov R.C., Pankova S.A., Zlatkov B.A., Investigation of some pharmacological effects of caffeine and taurine in food supplements, *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2014, 4(1–1), s. 18–23.
- [20] Riksen N.P., Smith P., Rongen G.A., The cardiovascular effects of methylxanthines, *Handbook of Experimental Pharmacology*, 2011, 200, s. 413–437.

- [21] Spriet L.L., Exercise and sport performance with low doses of caffeine, *Sports Medicine*, 2014, 44, s. 175–184.
- [22] Campbell B., Wilborn C., La Bounty P., Taylor L., Nelson M.T., Greenwood M., Ziegenfuss T.N., Lopez H.L., Hoffman J.R., Stout J.R., Schmitz S., Collins R., Kalman D.S., Antonio J., Kreider R.B., International Society of Sports Nutrition position stand: Energy drinks, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2013, 10(1), 1.
- [23] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the safety of caffeine, *EFSA Journal*, 2015, 13(5), s. 4102.
- [24] Bishop D., Dietary supplements and team-sport performance, *Sports Medicine*, 2010, 40(12), s. 995–1017.
- [25] Eichner E.R., Fatal caffeine overdose and other risks from dietary supplements, *Current Sports Medicine Reports*, 2014, 13(6), s. 353–354.
- [26] Kerrigan S., Lindsey T., Fatal caffeine overdose: Two case reports, *Forensic Science International*, 2005, 153(1), s. 67–69.
- [27] Andrews K.W., Schweitzer A., Zhao C., Holden J.M., Roseland J.M., Brandt M., Dwyer J.T., Picciano M.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(1), s. 231–239.
- [28] Soto C., Ponce-Rodriguez H.D., Verdu-Andres J., Herraiz-Hernandez R., Campíns-Falco P., Determination of caffeine in dietary supplements by miniaturized portable liquid chromatography, *Journal of Chromatography A*, 2022, 1664, s. 462770.