

MACIEJ ŚWITALSKI, MILLENA RUSZKOWSKA, MAGDALENA KAMIŃSKA

## OCENA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH HANDLOWYCH ODŻYWEK BIAŁKOWYCH

### Streszczenie

Celem pracy była ocena właściwości fizykochemicznych handlowych odżywek białkowych w proszku. Materiał doświadczalny stanowiły 4 preparaty w formie proszku: izolat białek sojowych, koncentrat białek serwatkowych, białko konopi oraz koncentrat białka grochu. Zakres badań obejmował oznaczanie zawartości i aktywności wody, kąta nasypu i zsypu, gęstości luźnej i utręsionej, barwy, właściwości rekonstrykcyjnych oraz sorpcyjnych wybranych preparatów, m.in. powierzchni właściwej sorpcji i pojemności warstwy monomolekularnej.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że oceniane produkty charakteryzowały się różnym poziomem zawartości i aktywności wody, determinowanym składem surowcowym preparatu białkowego w proszku. Najwyższe wartości tych parametrów zaobserwowano w białku konopnym oraz w koncentracie białek grochu. Na podstawie oceny gęstości nasypowej luźnej i utręsionej oraz kąta nasypu stwierdzono, że proszki badanych białek cechowała średnia kohezynność oraz zróżnicowana sypkość. Bardziej korzystnymi właściwościami fizykochemicznymi charakteryzowały się produkty pochodzenia roślinnego. Pomiar kąta zsypu pozwolił na stwierdzenie zależności pomiędzy stosowaną powierzchnią pomiaru a sypkością badanego białka w proszku. Dowiedziono, że największą trwałością przechowalniczą charakteryzowało się białko serwatkowe, natomiast najniższymi wartościami  $V_m$  i powierzchni właściwej sorpcji – białko konopne. Powyższe badania pozwoliły określić trwałość przechowalniczą preparatów handlowych białek w proszku produkowanych przemysłowo oraz ocenić ich wstępną przydatność w operacjach manipulacyjnych lub przeładunkowych.

**Słowa kluczowe:** białko sojowe, białko serwatkowe, białko konopi, zawartość wody, aktywność wody, gęstość nasypowa luźna i utręsiona, kąt nasypu, kąt zsypu, sypkość, kohezynność, barwa

### Wprowadzenie

Preparaty białkowe są przykładem produktów w proszku, które charakteryzują się dużą wartością odżywczą. Produkty te cechuje zwykle znacząca zawartość protein bogatych w niezbędne aminokwasy oraz niewielka ilość substancji przeciwdżyw-

---

*Mgr inż. M. Świtalski, dr hab. inż. M. Ruszkowska, prof. UMG, inż. M. Kamińska, Katedra Zarządzania Jakością, Wydz. Zarządzania i Nauk o Jakości, Uniwersytet Morski w Gdyni, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia. Kontakt: Maciej.switalski@sd.umg.edu.pl*

czych [9]. Do preparatów stosowanych w żywieniu sportowców, które są szeroko omówione w literaturze naukowej, zalicza się odżywki wyprodukowane z soi i mleka krowiego [28]. Ze względu jednak na wpływ soi na bioróżnorodność ekosystemów, obawy konsumentów przed żywnością zmodyfikowaną genetycznie, znaczącą ilość gazów cieplarnianych powstających podczas hodowli bydła, zwiększający się odsetek sportowców stosujących dietę wegańską czy alergienność soi i produktów mlecznych poszukuje się innych źródeł białka do produkcji izolatów, hydrolizatów i koncentratów białkowych [3, 8, 11]. Wśród możliwości wymienia się niekonwencjonalne źródła białka, tj. surowce bogate w białko stosowane tylko w bardzo ograniczonym zakresie, do których, oprócz owadów, białek organizmów jednokomórkowych, zaliczyć można rzadziej stosowane i w mniejszym zakresie zbadane nasiona zbóż, roślin strączkowych i oleistych, m.in. ryżu, grochu i konopi siewnych [3, 6, 11, 27].

Celem pracy była ocena wybranych właściwości fizykochemicznych preparatów białkowych w proszku.

### **Materiał i metody badań**

Materiał badany stanowiły 4 rodzaje preparatów białkowych, wśród których trzy produkty to odżywki pochodzenia roślinnego, a jeden – produkt pochodzenia zwierzęcego. Preparaty zakupiono w jednej z sieci supermarketów na terenie Gdyni. Opakowania jednostkowe zawierały od 500 do 700 g produktu. Produkty oznaczono cyframi rzymskimi od I do IV, a nazwy oraz ich skład przedstawiono w tab. 1.

Badane produkty cechowały się odmiennym składem (tab. 1). Odżywki białkowe II oraz III w przeciwieństwie do pozostałych preparatów charakteryzowały się obecnością jednego głównego składnika – koncentratu białek serwatkowych i białka z konopi siewnych. Produkt I stanowił preparat fortyfikowany witaminami, natomiast produkt IV stanowił mieszankę różnych źródeł białka i zawierał najwięcej składników dodatkowych. Różnice występowały również w deklarowanej przez producenta zawartości składników odżywczych (tab. 2).

Z deklaracji producenta wynika, że produkt I (izolat białek sojowych) charakteryzował się najniższą wartością energetyczną oraz najmniejszą zawartością tłuszczu i węglowodanów (tab. 2). Produkt I zawierał również najwięcej soli. Produkty II, III i IV charakteryzowały się zbliżoną zawartością tłuszczu (7,0 ÷ 9,5 g). Wśród preparatów zaobserwowano zróżnicowaną zawartość węglowodanów (6,0 ÷ 20,0 g) oraz błonnika (0,0 ÷ 19,0 g). Do preparatów najbogatszych w białko zaliczono odżywki I i II.

Ocenę preparatów prowadzono w warunkach laboratoryjnych. Oznaczenia miały na celu określenie jakości preparatów na podstawie ich właściwości fizykochemicznych [5].

Tabela 1. Skład badanych preparatów białkowych  
 Table 1. Composition of protein preparations tested

Kod Code	Nazwa produktu Product name	Marka Brand	Skład badanych produktów / Composition of products tested
I	Izolat białek sojowych w proszku 85 Sojavit Soy Powdered soy protein isolate 85 Sojavit Soy	Olimp	99-procentowy izolat białka sojowego / 99 % soy protein isolate, 0,46 % lecytyna sojowa / 0.46 % soy lecithin, acesulfam K / acesulfame K, 0,03 % sukraloza / 0.03 % sucralose, kwas L-askorbinowy / L-ascorbic acid, octan DL-alfa-tokoferylu / DL-alpha-tocopheryl acetate, amid kwasu nikotynowego / nicotinic acid amide, D-biotyna / D-biotin, octan retinyli / retinyl acetate, D-pantotenian wapnia / calcium D-pantothenate, chlorowodorek pirydoksyny / pyridoxine hydrochloride, cholekalcyferol / cholecalciferol, kwas pteroilomonoglutaminowy / pteroylmonoglutamic acid, monoazotan tiaminy / thiamine mononitrate, ryboflawina / riboflavin, cyjanokobalamina / cyanocobalamin, 0,03 % L-winian L-karnityny / 0.03 % L-carnitine L-tartrate
II	Koncentrat białek serwatkowych w proszku WPC 100 % / Powdered whey protein concentrate WPC 100 %	Olimp	100-procentowy koncentrat białek serwatkowych (z mleka) / 100 % whey protein concentrate (from milk), zawiera lecytyny (z soi) / contains lecithin (from soy)
III	Białko konopne w proszku Powdered hemp protein	My Vita	100 % białko z konopi siewnych ( <i>Cannabis sativa</i> ) / 100 % hemp protein ( <i>Cannabis sativa</i> )
IV	Wegański koncentrat białka grochu o smaku waniliowym Vegan vanilla-flavoured pea protein concentrate	All-nutrition	koncentrat białka grochu / pea protein concentrate, koncentrat białka ryżu / rice protein concentrate, koncentrat białka migdałowego / almond protein concentrate, koncentrat białka konopnego / hemp protein concentrate, nieutwardzony olej kokosowy w proszku / powdered non hydrogenated coconut oil, karboksymetyloceluloza / carboxymethyl cellulose, guma ksantanowa / xanthan gum, aromaty / aromatics, sukraloza / sucralose, acesulfam K / acesulfame K, dwutlenek krzemu / silicon dioxide, beta karoten / beta carotene

Źródło / Source: informacje zawarte na opakowaniu jednostkowym / information labelled on unit package

Pierwszymi oznaczanymi parametrami były gęstość nasypowa luźna i utrząsiona [1, 23], na podstawie których określano współczynnik Hausnera (1) i indeks Carra (2). Oznaczenia wykonano w 3 powtórzeniach.

Tabela 2. Wartość odżywcza badanych preparatów białkowych

Table 2. Nutritional value of protein preparations tested

Informacja o wartości odżywczej Information on nutritional value [w 100 g produktu] / [per 100 g of product]	Kod preparatu / Code of preparation			
	I	II	III	IV
Wartość energetyczna Energy value [kJ/kcal]	1632/390	1651/395	1687/403,5	1749/418
Tłuszcz / Fat [g]: w tym kwasy tłuszczowe nasycone including saturated fatty acids [g]	3 0,3	7,0 4,2	9,5 1,0	8,0 1,0
Węglowodany / Carbohydrates [g]: w tym cukry / including sugars [g]	1 <0,5	6,0 6,0	20,0 1,0	15,0 b.d
Błonnik / Fibre [g]	0	0	19,0	4,0
Białko / Protein [g]	85,0	77,0	50,0	72,0
Sól / Salt [g]	3,5	0,42	0,2	0,25

Źródło / Source: informacje zawarte na opakowaniu jednostkowym / information labelled on unit package

Współczynnik Hausnera (HR) obliczano z równania [23]:

$$I_H = \frac{\rho_T}{\rho_L} \quad (1)$$

gdzie:

$\rho_T$  – gęstość nasypowa utręszona [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ],

$\rho_L$  – gęstość nasypowa luźna [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ].

Indeks Carra ( $I_C$ ) obliczano z równania:

$$I_C = \frac{\rho_T - \rho_L}{\rho_T} \cdot 100 \quad (2)$$

Metodyka badań obejmowała również określenie kąta zsypania i nasypu. Kąt krytyczny (zsypania) oznaczano metodą pochylonej powierzchni przy użyciu urządzenia pomiarowego z 3 rodzajami płyt: metalową, szklaną i chropowatą. Oznaczenie polegało na naważeniu stałej objętości produktu i określeniu momentu, w którym produkt zaczyna zsypaniać się z powierzchni [4, 25, 29].

Kąt nasypu oznaczano poprzez swobodne przesypywanie produktu przez lejek o średnicy 5 mm i stworzenie stożka o wysokości ok. 35 cm [23, 29]. Oznaczenie zarówno kąta zsypania, jak i nasypu każdego produktu wykonano w 4 powtórzeniach

Kąt nasypu obliczano z równania [23, 29]:

$$K.N. = \arctan\left(\frac{2h}{d-a}\right) \quad (3)$$

gdzie:

$K.N.$  – kąt nasypu [°],

$h$  – wysokość stożka utworzonego przez produkt [mm],

$d$  – średnica podstawy stożka [mm],

$a$  – średnica wewnętrzna szyjki lejka [mm].

Właściwości rekonstrykcyjne proszków określano na podstawie pomiaru zwilżalności. Czas przejścia do fazy ciekłej proszków określano w temp. 25 i 85 °C. Oznaczenie wykonano w 3 powtórzeniach.

Pomiar barwy preparatów białkowych w proszku wykonywano przy użyciu kolorymetru Konica-Minolta CR 400 (Konica-Minolta, Japonia). Barwę oznaczano w systemie CIE Lab, w którym składowymi były parametry:  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$ . Parametr pierwszy określa jasność ( $L^*$ ), przy czym wartość 0 oznacza barwę czarną, natomiast 100 – białą. Parametry ( $a^*$ ) oraz ( $b^*$ ) opisują odpowiednio: barwę zieloną do czerwonej oraz niebieską do żółtej i przyjmują wartości w zakresie  $-120 \div 120$  [26].

Do oceny wielkości różnicy barw zastosowano równanie:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

W opracowaniu wyników badań przyjęto założenie, według którego bezwzględne różnice barw ( $\Delta E^*$ ) pomiędzy 0 i 1 są nierozpoznawalne,  $1 \div 2$  charakteryzuje niewielkie odchylenie rozpoznawalne przez osobę doświadczoną,  $2,0 \div 3,5$  obserwuje się średnie odchylenie rozpoznawalne nawet przez osobę postronną,  $3,5 \div 5,0$  widoczne jest wyraźne odchylenie. Natomiast wartość  $\Delta E^*$  powyżej 5 oznacza duże odchylenie barwy.

Zawartość wody oznaczano metodą suszarkową. Produkty poddawano suszeniu w temp. 105 °C [21, 23]. Ocenę aktywności wody odżywek białkowych wykonywano metodą instrumentalną przy użyciu urządzenia AquaLab 4TE, wersja AS4 2,14.0 2017 (Decagon Devices, Inc., USA) z dokładnością  $\pm 0,0003$ , w temp. 293 K (20 °C)  $\pm 2,5$  K.

Ocenę właściwości sorpcyjnych prowadzono metodą statyczno-eksykatorową poprzez wyznaczanie izoterm sorpcji pary wodnej na podstawie ustalonej w ciągu 60 dni równowagi wilgotnościowej pomiędzy atmosferą o określonej wilgotności względnej, regulowanej za pomocą nasyconych roztworów soli, a badaną próbką. Wyznaczanie izoterm sorpcji wykonywano w zakresie aktywności wody  $a_w = 0,07 \div 0,98$  w temp. 20

$\pm 1$  °C. Na podstawie początkowej masy produktu oraz zmian zawartości wody obliczano równowagowe zawartości wody i wykreślano izotermy sorpcji.

Do opisu empirycznie wyznaczonych izoterm sorpcji stosowano równania Brunauera, Emmeta i Telleta (BET) w zakresie aktywności wody  $0,07 \leq a_w \leq 0,33$ . Równanie scharakteryzowano na podstawie wartości współczynnika determinacji ( $R^2$ ), dopasowania błędu standardowego (FitStdErr) oraz wartość statystyki F [15, 19, 20]:

$$a = \frac{V_m c a_w}{(1 - a_w)[1 + (c - 1)a_w]} \quad (5)$$

gdzie:

$a_w$  – aktywność wody [-],

$V$  – równowagowa zawartość wody [g H<sub>2</sub>O/100 g s.m.],

$V_m$  – zawartość wody w monowarstwie [g H<sub>2</sub>O/100 g s.m.],

$C$  – stała energetyczna.

Powierzchnię właściwą adsorbentu obliczano z równania [15, 17, 20]:

$$a_{sp} = \omega \frac{V_m}{M} N \quad (6)$$

gdzie:

$a_{sp}$  – powierzchnia właściwa sorpcji [m<sup>2</sup>/g s.m.],

$v_m$  – pojemność monowarstwy [g /100 g s.m.],

$N$  – liczba Avogadra, [cząst./mol],

$M$  – masa cząsteczkowa wody, [6,023 · 10<sup>23</sup> cząsteczek/mol],

$\omega$  – powierzchnia siadania wody, [ $\omega = 1,05 \cdot 10^{-19} \cdot \text{m}^2/\text{cząst.}$ ].

Do opracowania statystycznego, jak i matematycznego uzyskanych wyników w pracy użyto programów komputerowych z pakietu arkusza kalkulacyjnego Microsoft Office Excel, Jandel-Table Curve 2D v. 5.01, PQStat 1.8.0.476, i Statistica 12. Analizę wariancji i test post-hoc Tukeya przeprowadzono przy użyciu PQStat 1.8.0.476.

## Wyniki i dyskusja

Zawartość i aktywność wody stanowią istotne parametry w charakterystyce właściwości fizykochemicznych, a przede wszystkim sorpcyjnych, pozwalają bowiem określić szybkość przebiegu reakcji fizycznych, chemicznych oraz biochemicznych [22]. Stwierdzono, że wśród badanych preparatów największą zawartością wody charakteryzował się produkt IV, natomiast najmniejszą – produkty I i II (tab. 3). Najniższą aktywnością wody charakteryzował się produkt II. Prawdopodobnie ze względu na różny stopień związania wody z matrycą produktu najwyższą aktywnością wody ce-

chował się produkt III. W przypadku zawartości i aktywności wody stwierdzono statystycznie istotne różnice pomiędzy wszystkimi badanymi produktami z wyłączeniem produktu I i II w zakresie zawartości wody. Można przypuszczać, że ze względu na zależność między zawartością wody a zdolnością płynięcia proszków, tj. zmniejszaniem się sypkości wraz ze wzrostem wilgotności produktu, najmniejszą sypkością powinny charakteryzować się produkty III oraz IV [13].

Tabela 3. Właściwości fizykochemiczne preparatów białkowych

Table 3. Physicochemical properties of protein preparations

Parametr Parameter	Kod preparatu / Code of preparation			
	I	II	III	IV
Zawartość wody / Water content [g/100 g s.m. / d.m.]	3,88 ± 0,10	3,77 ± 0,06	5,42 ± 0,02	5,89 ± 0,04
Aktywność wody Water activity	0,1562 ± 0,0017	0,1378 ± 0,0014	0,3822 ± 0,0018	0,3182 ± 0,0018
Gęstość luźna Untapped density [g/cm <sup>3</sup> ]	0,3637 ± 0,0066	0,2885 ± 0,0024	0,469 ± 0,0125	0,3929 ± 0,0209
Gęstość utrżeszona Tapped density [g/cm <sup>3</sup> ]	0,4259 ± 0,0160	0,3774 ± 0,071	0,5717 ± 0,0163	0,4547 ± 0,0103
Współczynnik Hausnera Hausner ratio	1,17 ± 0,03	1,31 ± 0,02	1,22 ± 0,02	1,16 ± 0,04
Indeks Carra / Carr index	14,56 ± 1,98	23,56 ± 0,95	17,97 ± 1,21	13,62 ± 3,29
Kąt nasypu Static angle of repose [°]	34,81 ± 1,08	40,58 ± 0,86	36,97 ± 0,24	39,89 ± 0,57
Kąt zsypania – powierzchnia metalowa / Dynamic angle of repose – metal surface [°]	30,75 ± 0,96	32,75 ± 0,96	27,25 ± 2,50	36,25 ± 4,65
Kąt zsypania – powierzchnia szklana / Dynamic angle of repose – glass surface [°]	53,50 ± 17,14	41,25 ± 3,40	34,50 ± 0,58	58,00 ± 4,32
Kąt zsypania – powierzchnia chropowata / Dynamic angle of repose – rough surface [°]	92,75 ± 2,06	44,25 ± 2,22	43,00 ± 2,83	55,50 ± 2,52
Barwa – parametr L* Colour – parameter L*	82,71 ± 0,02	86,97 ± 0,03	57,07 ± 0,05	78,64 ± 0,01
Barwa – parametr a* Colour – parameter a*	-0,54 ± 0,03	-1,88 ± 0,01	0,14 ± 0,02	1,89 ± 0,02
Barwa – parametr b* Colour – parameter b*	19,00 ± 0,01	16,33 ± 0,02	18,12 ± 0,03	19,90 ± 0,01
Zwilżalność Wettability (85 °C) [s]	25,00 ± 3,00	9,00 ± 2,65	5,33 ± 0,58	12,00 ± 2,00
Zwilżalność Wettability (25 °C) [s]	11,33 ± 0,58	6,33 ± 0,58	5,33 ± 0,58	8,33 ± 0,58

Różnica pomiędzy produktami / Difference between products						
Parametr Parameter	Kod preparatu / Code of preparation					
	I v. II	I v. III	I v. IV	II v. III	II v. IV	III v. IV
Zawartość wody Water content	ns	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
Aktywność wody Water activity	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
Gęstość luźna Untapped density	p = 0,0004	p < 0,0001	ns	p < 0,0001	p < 0,0001	p = 0,0004
Gęstość utrząsiona Tapped density	p = 0,0081	p < 0,0001	ns	p < 0,0001	p = 0,0004	p < 0,0001
Współczynnik Hausnera Hausner ratio	p = 0,0031	ns	ns	ns	p = 0,0012	p = 0,0166
Indeks Carra / Carr index	p = 0,0058	ns	ns	ns	p = 0,0019	p = 0,0276
Kąt nasypu Static angle of repose	p < 0,0001	p = 0,0079	p = 0,00004	p = 0,0001	ns	p = 0,0007
Kąt zsypania – powierzchnia metalowa / Dynamic angle of repose – metal surface	ns	ns	ns	ns	ns	p = 0,0026
Kąt zsypania – powierzchnia szklana / Dynamic angle of repose – glass surface	ns	p = 0,0487	ns	ns	ns	p = 0,0142
Kąt zsypania – powierzchnia chropowata / Dynamic angle of repose – rough surface	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	ns	p = 0,0002	p < 0,0001
Barwa – parametr L* Colour – parameter L*	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
Barwa – parametr a* Colour – parameter a*	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
Barwa – parametr b* Colour – parameter b*	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
Zwilżalność Wettability (85 °C)	p = 0,0002	p < 0,0001	p = 0,0005	ns	ns	p = 0,0279
Zwilżalność Wettability (25 °C)	p < 0,0001	p < 0,0001	p = 0,0010	ns	p = 0,0121	p = 0,0010

Objaśnienia / Explanatory notes:

ns – brak statystycznie istotnych różnic / no statistically significant differences. Wartości średnie różnią się statystycznie istotnie przy  $p \leq 0,05$  / Mean values differ statistically significantly at  $p \leq 0.05$ .

W badanych preparatach oznaczono ponadto wartości parametrów gęstości nasypowej luźnej i utrząsionej, określające stosunek masy cząsteczek do ich objętości, łącznie z wolnymi przestrzeniami kolejno w proszku luźno nasypanym i poddanym operacjom mechanicznym. Znajomość parametrów gęstości nasypowej luźnej i utrząsionej pozwala na odpowiednie zarządzanie produktem podczas operacji przeładunko-



wych i przechowywania [7]. Stwierdzono najniższe wartości ocenianych parametrów w preparacie II (tab. 3). Produkt ten charakteryzował się także najwyższym procentowym przyrostem gęstości pod wpływem zastosowanych operacji mechanicznych. Największą gęstością wśród badanych próbek odznaczał się preparat III. Wartości parametrów gęstości nasypowej luźnej i utrzęsionej preparatów I i IV nie różniły się w sposób statystycznie istotny, natomiast pozostałe produkty charakteryzowały różnice statystycznie istotne.

Współczynnik Hausnera stanowi parametr określający spójność proszku. Wartość współczynnika Hausnera  $< 1,2$ ,  $1,2 \div 1,4$ ,  $> 1,4$  odpowiada kolejno niskiej, średniej i wysokiej kohezji produktu. Indeks Carra pozwala natomiast na określenie sypkości produktu – im niższa jest jego wartość, tym wyższa sypkość ocenianego produktu w proszku [24]. Na podstawie otrzymanych wartości współczynników stwierdzono, że najniższe wartości HR i  $I_C$  charakteryzowały preparat IV, a najwyższe – produkt II (tab. 3). Pod względem średnich wartości współczynnika Hausnera oraz indeksu Carra nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic pomiędzy preparatami: I i III, I i IV oraz II i III. Nie potwierdzono ich także w klasyfikacji sypkości i kohezji żywności w proszku, zaproponowanej przez Samborską i wsp. [24]. Zgodnie z tą klasyfikacją oceniane preparaty charakteryzowały się bardzo dobrą (produkt I i IV –  $I_C < 15$ ), dobrą (produkt III –  $I_C = 15 \div 20$ ) lub słabą sypkością (produkt II –  $I_C = 20 \div 35$ ). Natomiast wartość HR według ww. klasyfikacji wskazywała, że wszystkie badane preparaty cechowały się średnią kohezją ( $HR = 1,2 \div 1,4$ ).

Na podstawie oceny wartości kąta zsypania i nasypu podjęto także próbę potwierdzenia zależności dotyczących kohezji i sypkości ocenianych proszków białkowych. Wielkości te określają zdolność materiału do płynięcia. Niska wartość kąta nasypu oraz wysoka wartość kąta zsypania charakterystyczna jest zwykle dla proszków wykazujących niewielką zdolność do płynięcia i wysoką kohezję [23]. W badanych preparatach wartość kąta nasypu wahała się w granicach  $34 \div 40^\circ$ , co wskazywało na pewną kohezję produktów oraz ich dość dobrą (produkt I) lub dobrą (produkty II - IV) sypkość [2, 12]. Jednakże analiza statystyczna umożliwiła stwierdzenie, że spośród badanych próbek wyłącznie preparaty II i IV charakteryzowały się równą wartością kąta nasypu.

Stwierdzono istnienie zależności pomiędzy rodzajem powierzchni zsypania a sypkością proszku oraz brak statystycznie istotnych różnic pod względem wartości uzyskanego kąta zsypania z powierzchni metalowej między większością badanych preparatów (tab. 3).

Kąt zsypania preparatów z powierzchni metalowej obejmował przedział  $27,25 \div 36,25^\circ$ . Kąt zsypania z powierzchni szklanej obejmował szerszy zakres  $34,50 \div 58,00^\circ$ , co mogło być prawdopodobnie wynikiem odmiennej sypkości produktów (tab. 3). Pomimo szerokiego zakresu wartości kąta zsypania z tej powierzchni stwierdzono brak staty-

stycznie istotnych różnic między większością ocenianych produktów pod względem tego parametru. Najwyższe wartości kąta zsypania zaobserwowano natomiast po zastosowaniu powierzchni chropowatej. Preparaty badane z użyciem tej powierzchni cechowało występowanie statystycznie istotnych różnic, z wyłączeniem produktów II i III.

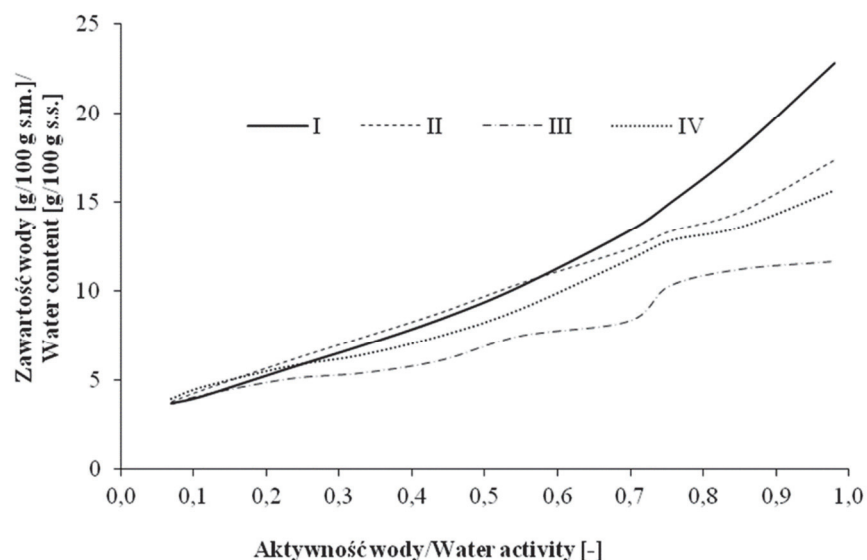
Na podstawie pomiaru składowych barwy stwierdzono, że wszystkie badane preparaty różniły się istotnie pod względem ocenianych parametrów (tab. 3). Produkt II charakteryzował się najjaśniejszą barwą ( $L^* = 86,97$ ), a najniższa wartość parametru  $L^*$  była cechą preparatu III ( $L^* = 57,07$ ). Najniższymi wartościami parametrów barwy  $a^*$  i  $b^*$  odznaczał się preparat II, a najwyższymi – IV (tab. 3). Wyjaśnienia obserwowanych różnic upatruje się w odmiennym składzie surowcowym odżywek białkowych. Potwierdzeniem tego jest obliczona wielkość  $\Delta E$ , określająca poziom różnicy barwy. Badane produkty charakteryzowały się wyraźną różnicą barwy ( $\Delta E < 3,5$ ), zauważalną nawet dla niedoświadczonego obserwatora [26].

Zbadano także zwilżalność określającą szybkość i stopień rozproszenia cząsteczek proszku badanych odżywek białkowych w wodzie [30]. Wykazano dłuższy czas przejścia proszku do fazy ciekłej w wyższej temperaturze ( $85\text{ }^\circ\text{C}$ ) – tab. 3. Najniższą zwilżalnością w obu założonych temperaturach, tym samym najdłuższym czasem zwilżania, charakteryzował się produkt I (25 s). Stwierdzono, że produkt I w temp.  $85\text{ }^\circ\text{C}$  nie wykazywał zwilżalności charakterystycznej dla żywności instant ( $< 15\text{ s}$ ) [10]. Preparatami najlepiej zwilżalnymi były produkty III i II. Na podstawie wartości  $p$  nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic pod względem zwilżalności produktów II i III w obu temperaturach oraz preparatów II i IV w temp.  $85\text{ }^\circ\text{C}$  (tab. 3).

Kolejnym elementem badań była ocena właściwości sorpcyjnych produktów. Na rys. 1. przedstawiono izotermę sorpcji badanych preparatów. Izotermę charakteryzowały się kształtem sigmoidalnym, właściwym dla produktów bogatych w polimery o dużej masie cząsteczkowej, np. produktów wysokobiałkowych i wykazywały podobieństwo do izoterm typu II według klasyfikacji Brunauera i wsp. Wśród wszystkich izoterm sorpcji pary wodnej zaobserwowano ciągłość przebiegu, tym samym stwierdzono, że w preparatach nie zachodził proces krystalizacji w badanym zakresie aktywności wody  $a_w = 0,07 \div 0,98$ .

Analiza przebiegu izoterm pozwoliła stwierdzić ponadto, że proces adsorpcji obserwowany był we wszystkich produktach w obszarze izoterm obejmującym zjawisko adsorpcji wielowarstwowej i kondensacji kapilarnej. Proces desorpcji charakteryzował produkty: I przy  $a_w = 0,07$ , III – w zakresie aktywności wody  $0,07 \div 0,33$  oraz IV – w zakresie aktywności wody  $0,07 \div 0,23$ . Wzrost intensywności zjawiska pochłaniania pary wodnej uzależniony od procesu kondensacji kapilarnej zaobserwowano w produkcie I przy  $a_w < 0,85$ .

W tab. 4. przedstawiono parametry równania BET oraz wartości powierzchni właściwej sorpcji.



Rys. 1. Izotermi sorpcji preparatów białkowych

Fig. 1. Sorption isotherms of protein preparations

Tabela 4. Parametry równania BET

Table 4. BET equation parameters

Parametry równania BET BET equation parameters	Kod preparatu / Code of preparation			
	I	II	III	IV
$v_m$	4,9856	5,3495	3,6973	4,4485
$c_e$	25,2292	24,3724	78,1673	80,2194
$R^2$	0,9979	0,9996	0,9944	0,9974
FitStdErr	0,1859	0,0885	0,2366	0,2366
Charakterystyka strukturalna preparatów / Structural profile of preparations				
Powierzchnia właściwa sorpcji Specific surface of sorption [m <sup>2</sup> /g]	175,1659	187,9493	129,903	156,2936

Parametr równania BET – pojemność monowarstwy ( $v_m$ ) służy do określania pojemności sorpcyjnej adsorbentów i traktowany jest jako wskaźnik dostępności miejsc polarnych dla pary wodnej niezależnie, który ze składników jest źródłem grup hydrofiliowych. O pojemności monowarstwy decyduje liczba poszczególnych składników zawierających znaczną liczbę miejsc polarnych oraz ich stan fizyczny, co determinuje ilość wody silnie związanej z matrycą żywności [16]. Na podstawie uzyskanych wartości pojemności monowarstwy ( $v_m$ ) zaobserwowano wpływ składu produktów na ich

właściwości sorpcyjne (tab. 2 i 4). Tendencja ta wystąpiła w przypadku preparatu III, który był bogaty w substancję hydrofobową – tłuszcz i charakteryzował się najniższą wartością pojemności warstwy monomolekularnej  $v_m$ . Najwyższą wartość warstwy monomolekularnej stwierdzono w preparacie II, pomimo mniejszej niż w produktach I i IV zawartości substancji hydrofilowych – białek, warunkujących dostępność miejsc polarnych dla pary wodnej. Stwierdzono, że największą trwałością przechowalniczą charakteryzował się produkt II o najwyższej wartości warstwy monomolekularnej. Znaczne rozwinięcie monowarstwy chroni bowiem produkt przed obniżeniem jakości w wyniku pochłaniania określonej ilości wody.

Za parametr odzwierciedlający różnicę pomiędzy entalpią desorpcji monowarstwy i entalpią parowania ciekłego adsorbentu uznaje się stałą energetyczną  $c_e$ . Wartości stałej energetycznej  $c_e$  wynoszące w przypadku badanych preparatów  $> 2$  potwierdziły sigmoidalny kształt izoterm sorpcji pary wodnej oraz wskazały na fizyczny charakter procesu sorpcji [14, 18]. Zastosowany model BET dobrze opisywał izotermy sorpcji badanych preparatów – wartości współczynnika  $R^2$  wynosiły powyżej 0,95.

Oszacowane na podstawie modelu BET wartości pojemności monowarstwy  $v_m$  stanowiły podstawę do obliczenia powierzchni właściwej sorpcji. Stwierdzono, że preparat II charakteryzował się większą powierzchnią właściwą sorpcji w przeciwieństwie do produktu III, cechującego się jej najniższą wartością. Uwzględniając powyższą właściwość oraz wielkość monowarstwy ( $v_m$ ), można przypuszczać, że produkt II będzie charakteryzował się wysoką trwałością i stabilnością przechowalniczą.

## Wnioski

1. Analiza właściwości fizykochemicznych odżywek białkowych na podstawie wartości HR i kąta nasypu umożliwiła wnioskowanie o średniej kohezyności badanych odżywek białkowych.
2. Wartości kąta zsypania zróżnicowane były przez rodzaj zastosowanej powierzchni zsypania.
3. Nie zaobserwowano jednoznacznej zależności pomiędzy sypkością proszku, określoną na podstawie wartości  $I_C$ , a zawartością wody.
4. Izoterma sorpcji badanych preparatów wykazywała podobieństwo do izoterm typu II według klasyfikacji Brunauera i charakteryzowała się ciągłością przebiegu.
5. Porównanie produktu pochodzenia zwierzęcego z produktami roślinnymi wskazało na jego mniej korzystne właściwości fizykochemiczne, mogące powodować trudności przeładunkowe (wyższa kohezynność, mniejsza sypkosc). Produkt ten charakteryzowała jednak większa stabilność przechowalnicza.

*Źródło finansowania: Katedra Zarządzania Jakością UMG.*

### Literatura

- [1] Abdullah E.C., Geldart D.: The use of bulk density measurements as flowability indicators. *Powder Technology*, 1999, 102, 151-165.
- [2] Abdullah E.C., Salam A.M., Aziz A.R.: Cohesiveness and flowability properties of silica gel powder. *Physics International*, 2010, 1 (1), 16-21.
- [3] Bashi Z., McCullough R., Ong L., Ramirez M.: Alternative proteins: The race for market share is on. [on line] McKinsey Insights, 2019. Dostęp w Internecie [6.08.2020]: <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/alternative-proteins-the-race-for-market-share-is-on>
- [4] Beakwi Al-Hashemi H.M., Al-Amoudi O.S.B.: A review on the angle of repose of granular materials. *Powder Technology*, 2018, 330, 397-417.
- [5] Bielawa A.: Postrzeganie i rozumienie jakości – przegląd definicji jakości. *Studia i Prace WNEiZ US*, 2011, 21, 143-152.
- [6] Bueshke M., Kulczyński B., Gramza-Michałowska A., Kubiak T.: Alternatywne źródła białka w żywieniu człowieka. *Zesz. Nauk. SGGW w Warszawie – Problemy Rolnictwa Światowego*, 2017, 17 (3), 49-59.
- [7] Darniadi S., Ho P., Murray B.S.: Comparison of blueberry powder produced via foam mat freeze drying versus spray-drying: Evaluation of foam and powder properties. *J. Sci. Food. Agric.*, 2018, 98 (5), 2002-2010.
- [8] Fearnside P.M.: Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation*, 2000, 28 (1), 23-38.
- [9] Gawęcki J.: Białka w żywności i żywieniu. Wyd. UE w Poznaniu, Poznań 2016.
- [10] Górka A., Szulc K., Ostrowska-Ligęza E., Wirkowska-Wojdyła M., Bryś J.: Wybrane właściwości fizyczne układów beta-laktoglobulina-palmitynian retinylu-trehaloza otrzymanych w postaci proszków metodą suszenia rozpyłowego i sublimacyjnego. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2015, 48 (3), 334-339.
- [11] Ismail B.P., Senaratne-Lenagala L., Stube A., Brackenridge A.: Protein demand: Review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production. *Animal Frontiers*, 2020, 10 (4), 53-63.
- [12] Jedlińska A., Janiszewska E., Stasiak M., Witrowa-Rajchert D.: Właściwości fizyczne waniliowych aromatów proszkowych o zróżnicowanym składzie chemicznym części aromatycznej. *Nauki Inż. i Technol.*, 2013, 9 (2), 53-66.
- [13] Juarez-Enriquez E., Olivas G.I., Zamudio-Flores P.B., Ortega-Rivas E., Perez-Vega S., Sepulveda D.R.: Effect of water content on the flowability of hygroscopic powders. *J. Food Eng.*, 2017, 205, 12-17.
- [14] Mathlouthi M.: Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*, 2001, 12, 409-417.
- [15] Ociecek A., Puksza T., Nebel J.: Wpływ stopnia rozdrobnienia pieprzu czarnego na jego higroskopijność badaną z wykorzystaniem wybranych modeli sorpcji. *Zesz. Nauk. Akademii Morskiej w Gdyni*, 2017, 99, 20-30.
- [16] Ociecek A., Ruskowska M.: Porównanie właściwości sorpcyjnych ziarna wybranych odmian komosy ryżowej (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2018, 3 (116), 71-88.
- [17] Ociecek A., Skotnicka M.: Porównywanie właściwości grzybów suszonych w kontekście ich stabilności przechowalniczej. *Probl. Hig. Epidemiol.*, 2017, 98 (3), 296-301.
- [18] Ociecek A.: Właściwości hydratacyjne jako wyróżnik jakości użytkowej mąk pszennych pasażowych. *Pr. Nauk. Akademii Morskiej, Gdynia* 2012.

- [19] Ościk J.: Adsorpcja. PWN, Warszawa 1983.
- [20] Paderewski M.: Procesy adsorpcyjne w inżynierii chemicznej. WNT, Warszawa 1999.
- [21] PN-A-86030:1978. Mleko i przetwory mleczarskie. Mleko w proszku. Metody badań.
- [22] Ruszkowska M., Palich P.: Ocena wybranych produktów mleczarskich w proszku. Inż. Ap. Chem., 2013, 52 (2), 83-85.
- [23] Ruszkowska M., Wiśniewska A.: Ocena wybranych napojów roślinnych w proszku – charakterystyka właściwości fizykochemicznych. Zesz. Nauk. Akademii Morskiej w Gdyni, 2017, 99, 103-113.
- [24] Samborska K., Choromańska A., Witrowa-Rajchert D., Bakier S.: Suszenie rozpyłowe miodu pszczelego z maltodekstryną. Inżynieria Żywności, 2011, 21 (1), 19-23.
- [25] Singh K.K., Goswami T.K.: Physical properties of cumin seed. J. Agric. Eng. Res., 1996, 64 (2), 93-98.
- [26] Śmiechowska M., Kłobukowski F.: Ocena barwy odtłuszczonych i nieodtłuszczonych proszków kakaowych – badania wstępne. Zesz. Nauk. Akademii Morskiej w Gdyni, 2016, 93, 134-140.
- [27] Wang S., Kreuzer M., Braun U., Schwarm A.: Effect of unconventional oilseeds (safflower, poppy, hemp, camelina) on *in vitro* ruminal methane production and fermentation. J. Sci. Food. Agric., 2017, 97 (11), 3864-3870.
- [28] Wróblewska B., Juśkiewicz J., Kroplewski B., Jurgoński A., Wasilewska E., Złotkowska D., Markiewicz L.: The effects of whey and soy proteins on growth performance, gastrointestinal digestion, and selected physiological responses in rats. Food Funct., 2018, 9, 1500-1509.
- [29] Zawiślak K., Sobczak P.: Zmiany wybranych właściwości fizycznych granulatu uzyskanego z dodatkiem różnych substancji wiążących. Inżynieria Rolnicza, 2007, 11 (5), 437-444.
- [30] Żbikowska A., Żbikowski Z.: Wpływ temperatury i twardości wody na stopień odtworzenia mleka z odtłuszczonego proszku mlecznego. Inż. Ap. Chem., 2011, 50 (6), 20-22.

## EVALUATION OF SELECTED PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF COMMERCIAL PROTEIN SUPPLEMENTS

### S u m m a r y

The objective of the research study was to evaluate the physicochemical properties of commercial powdered protein supplements. The research material consisted of 4 powdered preparations: soy protein isolate, whey protein concentrate, hemp protein and pea protein concentrate. The research scope included the determination of water content and water activity, static and dynamic angle of repose, loose and tapped density, colour, and reconstitution and sorption properties of the selected preparations, including specific sorption surface and capacity of the monomolecular layer.

On the basis of the analyses performed, it was found that the products under evaluation were characterised by a different level of water content and water activity, dependent on the composition of raw material of the powdered protein preparation. The highest values of those parameters were reported for the hemp protein and pea protein concentrate. Based on the evaluation of the loose and tapped density parameters and static angle of repose, it was found that the powdered proteins tested were characterised by an average cohesiveness and a diverse flowability. Better physicochemical properties were characteristic for the products of plant origin. By measuring the dynamic angle of repose, it was possible to provide a relationship between the measuring surface applied and the flowability of the powdered protein tested. It was reported that the whey protein was characterised by the highest storing stability, whilst the hemp protein – by the lowest values of  $V_m$  and specific sorption surface. The above described research study

---

helped determine the storing stability of the commercial, powdered protein supplements manufactured industrially and evaluate their initial suitability during the handling or transshipment operations.

**Key words:** soy protein, whey protein, hemp protein, water content, water activity, loose and tapped density, static angle of repose, dynamic angle of repose, flowability, cohesiveness, colour ☒