

Production and physicochemical properties of feed pellets with celery waste additives

Wytwarzanie i właściwości fizyczno-chemiczne granulatu paszowego z dodatkiem odpadów selera



Wheat bran with the addn. of 5, 7.5 or 10% by mass of celery root waste was crushed, mixed and granulated in a granulator with a flat matrix and a working system of rotating densifying rollers. The granulates were tested for phys. properties (kinetic strength, bulk d. and phys. d.) and chem. properties, such as N, P, K, Na content and water activity. The effect of the addn. of celery waste on the parameters of the pressure agglomeration process of wheat bran was detd.

Keywords: vegetable waste, granulation, fodder, granulate quality

Polska należy do czołowych producentów i eksporterów świeżych oraz przetworzonych owoców i warzyw w Unii Europejskiej. Według danych GUS¹⁾ produkcja warzyw w 2023 r. wyniosła 3,83 mln t, a owoców 4,93 mln t. Przemysł owocowo-warzywny umożliwia korzystanie z owoców i warzyw przez cały rok, przetwarzając je do postaci dżemów, mrożonek i soków. Podczas przetwórstwa owoców oraz warzyw powstaje znaczna ilość odpadów. Jak podają Tarko i współpr.²⁾, ilość odpadów produkowanych przez przemysł owocowo-warzywny mieści się w granicach 10–35% masy przetwarzanego surowca. W skład wytworzonych odpadów wchodzi nasiona, skórki oraz wycięcia, które mają największy udział w ilości wytworzonych odpadów³⁾.

Przedstawiono wyniki badań procesu granulacji ciśnieniowej oraz właściwości fizycznych i chemicznych granulatu paszowego z dodatkiem odpadów pochodzących z przetwórstwa warzyw (poprodukcyjne odpady korzenia selera). Określono wpływ dodatku odpadów selera na zapotrzebowanie na moc czynną granulatora podczas aglomeracji ciśnieniowej otrąb pszennych. Otrzymane granulaty przebadano pod kątem właściwości fizycznych (wytrzymałość kinetyczna, gęstość usypowa oraz gęstość fizyczna) oraz właściwości chemicznych, takich jak aktywność wody oraz zawartość azotu, fosforu, potasu i sodu. Proces aglomeracji ciśnieniowej przeprowadzono na stanowisku, którego głównym elementem był granulator z układem roboczym składającym się z płaskiej matrycy i obrotowych rolek zagęszczających.

Słowa kluczowe: odpady warzywne, granulacja, pasza, jakość granulatu

Odpady pochodzące z przemysłu owocowo-warzywnego, pomimo swej niestabilności mikrobiologicznej wynikającej z wysokiej zawartości wody, są bogatym źródłem wielu wartościowych składników, takich jak białka, błonnik, węglowodany, polifenole, związki mineralne, witaminy, pektyny, lipidy, kwasy organiczne, aldehydy oraz substancje barwne i aromatyczne^{4, 5)}. Odpady te można zagospodarować na wiele różnych sposobów. Najpopularniejszą metodą jest przeznaczenie ich na paszę dla zwierząt⁶⁾. Kolejnym sposobem zagospodarowania odpadów z przemysłu owocowo-warzywnego może być ich wykorzystanie w celach energetycznych. Wiele odpadów charakteryzuje się wysoką wartością opałową i ciepłem spalania⁷⁾. Zastosowanie odpadów owocowo-warzywnych jako lepiszcza podczas



Mgr inż. Paweł Cwalina (ORCID: 0000-0001-5768-9644) w roku 2020 ukończył studia I stopnia, a w 2021 r. studia II stopnia na kierunku inżynieria rolno-spożywcza i leśna na Wydziale Budownictwa i Nauk o Środowisku Politechniki Białostockiej. Od 2022 r. jest słuchaczem Szkoły Doktorskiej Politechniki Białostockiej, dziedziną inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Obecnie jest referentem technicznym w Katedrze Inżynierii Rolno-Spożywczej i Kształtowania Środowiska na macierzystym wydziale. Specjalność – inżynieria rolno-spożywcza i leśna, przetwarzanie odpadów rolno-spożywczych na cele paszowe oraz energetyczne.



Dr hab. inż. Sławomir Obidziński, prof. PB (ORCID: 0000-0003-4678-996X), w roku 1997 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej. W 2006 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na tym samym wydziale. Obecnie jest profesorem uczelni i kierownikiem Katedry Inżynierii Rolno-Spożywczej i Kształtowania Środowiska na Wydziale Budownictwa i Nauk o Środowisku PB. Specjalność – inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, budowa i eksploatacja maszyn, inżynieria rolnicza.

Adres do korespondencji:

Katedra Inżynierii Rolno-Spożywczej i Kształtowania Środowiska, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, e-mail: s.obidzinski@pb.edu.pl

kopeletyzacji może nieść za sobą wiele pozytywnych zmian, takich jak polepszenie właściwości fizycznych granulatu i zmniejszenie energochłonności procesu peletyzacji⁸.

Celem pracy była analiza możliwości wykorzystania odpadów selera jako składnika paszowego oraz określenie potencjalnych korzyści płynących z kopeletyzacji odpadów selera z otrębami pszennymi.

Część doświadczalna

Surowce

Do badań wykorzystano odpad selera pochodzący z firmy Eko Podlasie sp. z o.o. z Siemiatycz oraz otręby pszenne pochodzące z Podlaskich Zakładów Zbożowych SA mieszczących się w Białymstoku (rys. 1).

Metodyka badań

W celu wytworzenia granulatu paszowego wcześniej przygotowano mieszanki zawierające odpady selera (rozdrobione do odpowiedniej frakcji) dodawane w ilości 5, 7,5 i 10% do otrębów pszennych. Ilość dodatku selera została ustalona w badaniach wstępnych i była podyktowana wytrzymałością mechaniczną końcowego produktu. Przy ilości dodatku odpadów selera powyżej 10% (z racji wysokiej wilgotności odpadów) nie można otrzymać produktu o zadowalających walorach wytrzymałościowych. Mieszanki dowlżono następnie do założonej wilgotności 16%, wymieszano i umieszczono w specjalnych pojemnikach, które zostały szczelnie zamknięte i pozostawione na 24 h. Wilgotność badanych surowców oznaczono wg normy⁹). Następnie mieszanki poddano procesowi aglomeracji ciśnieniowej na stanowisku SS-5, którego podstawowym elementem był granulador firmy TechnoMaszBud, model Prime-200, wyposażony w silnik o mocy 12 kW, o prędkości obrotowej 1440 rpm. Układ roboczy składał się z płaskiej nieruchomej matrycy i 2 obrotowych rolek zagęszczających.

Po 24 h od aglomeracji oznaczono właściwości fizyczne granulatu, takie jak gęstość fizyczna (wg metodyki opisanej w publikacji¹⁰), gęstość usypowa (wg normy¹¹) oraz wytrzymałość kinetyczna (wg normy¹²).

W celu określenia stabilności mikrobiologicznej wykonanych granulatu oznaczono aktywność wody, wg normy¹³). Aktywność wody w granulatach wykonano 48 h po procesie aglomeracji.

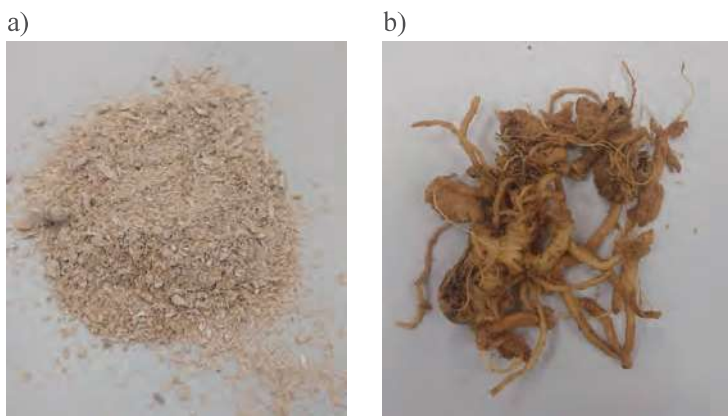


Fig. 1. View of the tested draw materials: a) wheat bran, b) celery waste
Rys. 1. Widok badanych surowców: a) otręby pszenne, b) odpad selera

W trakcie badań oznaczono również właściwości chemiczne surowców oraz granulatu, takie jak zawartość azotu metodą Kjeldahla, fosforu metodą spektrofotometryczną, a zawartość potasu i sodu metodą fotometrii płomieniowej, wg metodyk opisanych w pracy¹⁴).

Zapotrzebowanie na moc czynną granuladora rejestrowano za pomocą analizatora Sonel PQM707 wyposażonego w program Sonel Analysis 4.6.1, który wykorzystano do odczytu wyników. Wpływ dodatku odpadów selera na zapotrzebowanie na moc czynną granuladora (N_g) podczas zagęszczania otrębów pszennych w układzie roboczym granuladora z płaską matrycą opisuje równanie (1):

$$N_g = -0,058 \cdot z_s + 2,28 \quad (1)$$

w którym z_s oznacza zawartość odpadów selera, %, a N_g zapotrzebowanie na moc granuladora, kW.

Wyniki badań i ich omówienie

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań wilgotności i aktywności wody w badanych surowcach oraz wytworzonych granulatach. Stwierdzono, że badane otręby pszenne charakteryzowały się małą wilgotnością wynoszącą 6,7% oraz aktywnością wody wynoszącą 0,621, a poprodukcyjne odpady selera cechowały się wilgotnością 21,94% oraz aktywnością wody 0,923.

Wszystkie wytworzone granulaty charakteryzowały się identyczną wilgotnością mieszczącą się w granicach 8,23–8,31% oraz aktywnością wody w granicach 0,534–0,552.

Według Kowala¹⁵) aktywność wody jest istotnym parametrem podczas oceny stabilności mikrobiologicznej surowców

Table 1. Result of moisture content and water activity measurements

Tabela 1. Wynik pomiarów wilgotności oraz aktywności wody

Surowiec/granulat	Wilgotność, %	Aktywność wody a_w
Otręby pszenne	6,7	0,621
Odpad selera	21,94	0,923
Granulat zawierający 5% dodatku	8,23	0,544
Granulat zawierający 7,5% dodatku	8,31	0,552
Granulat zawierający 10% dodatku	8,25	0,534



Mgr inż. Sebastian MAJEWSKI w roku 2021 ukończył studia I stopnia na kierunku inżyniera rolno-spożywcza (specjalność inżynieria rolnicza), a w 2022 r. studia II stopnia na kierunku inżynieria rolno-spożywcza i leśna na Wydziale Budownictwa i Nauk o Środowisku Politechniki Białostockiej. Obecnie prowadzi własne gospodarstwo rolne zajmujące się głównie produkcją roślinną.

Table 2. Physical properties of the obtained granulates

Tabela 2. Właściwości fizyczne wytworzonych granulatów

Zawartość dodatku, %	Gęstość fizyczna, kg/m ³	Gęstość usypowa, kg/m ³	Wytrzymałość kinetyczna, %	Pobór mocy, kW
0	1128,52	448,21	52,51	2,23
5	1157,13	463,63	56,86	2,15
7,5	1167,42	464,92	65,20	2,11
10	1192,14	467,48	72,60	2,05

oraz produktów paszowych. Wynika to z możliwości rozwoju mikroorganizmów, takich jak bakterie, gdy aktywność wody $a_w \geq 0,9$; drożdże, gdy $a_w \geq 0,8$; oraz pleśń, gdy $a_w \geq 0,7$. Badane otręby pszenne oraz wytworzone granulaty cechowały się małą aktywnością wody (poniżej 0,7), która nie pozwoliła na rozwój grzybów, drożdży i bakterii. Badane odpady selera cechowały się znacznie większą aktywnością wody na poziomie 0,923, przez co były narażone na zepsucie. W związku z tym wymagane jest ich odpowiednie przechowywanie w przypadku dłuższego czasu, np. przez zamrożenie.

W tabeli 2 przedstawiono właściwości fizyczne wytworzonych granulatów. Gęstość fizyczna, gęstość usypowa oraz wytrzymałość kinetyczna granulatu to podstawowe parametry charakteryzujące jego jakość. Granulat wysokiej jakości poprawia efektywność żywienia zwierząt, natomiast granulat o słabych właściwościach fizycznych obniża wyniki produkcyjne¹⁶.

Granulat niezawierający dodatku odpadów selera (z samych otrębów pszennych) cechował się gęstością fizyczną na poziomie 1128,52 kg/m³. Zwiększenie dodatku odpadów selera z 5 do 10% spowodowało wzrost gęstości fizycznej od 1157,13 kg/m³ (przy 5-proc. udziale dodatku) do 1192,14 kg/m³ (przy 10-proc. udziale dodatku). Jest to pozytywna tendencja, gdyż duża gęstość i wytrzymałość kinetyczna wpływają na zmniejszenie porowatości granul i mniejsze narażenie na absorpcję wilgoci, a przez to dłuższy okres ich trwałości. Farhan i Hussein¹⁷ badali wpływ parametrów konstrukcyjnych na jakość granulatu przeznaczonego dla drobiu i uzyskali gęstość fizyczną granulatu, w zależności od ustawień granuladora, w granicach 1214,17–1453,23 kg/m³. W badaniach przeprowadzonych przez Kowczyk¹⁸, która badała możliwość zagospodarowania odpadów zielarskich, takich jak kłącza perzu i odpady z liści pokrzywy w mieszaninie z otrębami, wytworzone granulaty charakteryzowały się gęstością fizyczną 987,17–1139,28 kg/m³.

Gęstość usypowa granulatu z otręb pszennych wynosiła 448,21 kg/m³. Zwiększenie dodatku odpadów selera z 5 do 10% spowodowało nieznaczny wzrost gęstości usypowej z 463,63 kg/m³ (przy 5-proc. udziale dodatku) do wartości 467,48 kg/m³ w przypadku granulatu zawierającego 10% odpadów selera. Granulaty o większej gęstości usypowej zapewniają łatwiejszy i bardziej efektywny proces ich transportu, magazynowania oraz dozowania. Çitil oraz Marakoglu¹⁹, którzy granulowali mieszanki paszowe na bazie jęczmienia, uzyskali gęstość usypową granulatu na poziomie 507 kg/m³.

Wytrzymałość kinetyczna granulatu z otręb pszennych wynosiła 52,51%. Wprowadzenie dodatku odpadów selera spowodowało znaczną poprawę tego parametru, który dla granulatu zawierającego 5% odpadów selera wyniósł

56,86%, natomiast dla granulatu zawierającego 10% dodatku wyniósł 72,6%. W badaniach przeprowadzonych przez Zettl i współpr.²⁰ wytworzony granulat cechował się znacznie większą wytrzymałością kinetyczną, która dla wszystkich wytworzonych granulatów wynosiła ponad 97%. Równie dobrymi wynikami cechowały się granulaty wytworzone przez Kowczyk¹⁸, które charakteryzowały się wytrzymałością kinetyczną powyżej 90%.

Podczas procesu granulacji mieszanek wytworzonych w warunkach laboratoryjnych zapotrzebowanie granuladora na moc czynną przy granulowaniu mieszanki zawierającej 0% odpadów selera wynosiło 2,23 kW (rys. 2). Zwiększenie dodatku odpadów selera z 5 do 10% spowodowało zmniejszenie zapotrzebowania granuladora na moc o 3,6%, z 2,23 do 2,15 kW (przy 5-proc. udziale dodatku) i do 2,05 kW w przypadku mieszanki zawierającej 10% dodatku odpadów selera.

Badane otręby pszenne charakteryzowały się zawartością azotu na poziomie 24,67 mg/g s.m. (tabela 3), co w przeliczeniu na białko ogólne daje 154,19 mg białka/g s.m. Jak podają Prückler i współpr.²¹, zawartość białka w otrębach pszennych waha się w granicach 13–18%. Odpady selera zawierały 2,76 mg azotu/g s.m., co stanowi równowartość 17,25 mg białka/g s.m. odpadu. W badaniach przeprowa-

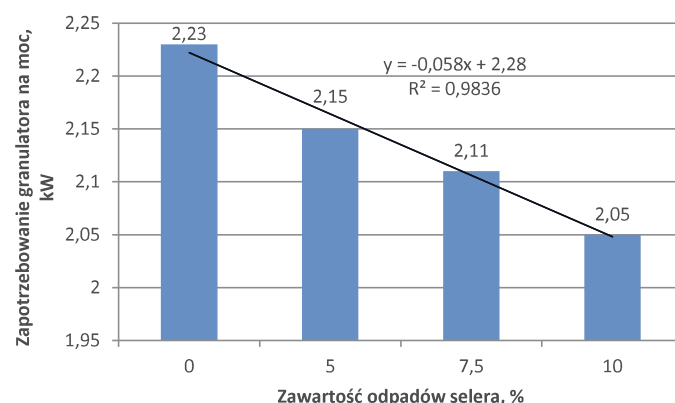


Fig. 2. Dependence of the granulator power demand on the celery waste content in the mixture with wheat bran

Rys. 2. Zależność zapotrzebowania granuladora na moc od zawartości odpadów selera w mieszance z otrębami pszennymi

Table 3. Chemical composition of the tested raw materials

Tabela 3. Skład chemiczny badanych surowców

Surowiec	Azot (N), mg/g s.m.	Fosfor (P), mg/g s.m.	Potas (K), mg/g s.m.	Sód (Na), mg/g s.m.
Otręby pszenne	24,67	1,01	3,38	0,05
Odpady selera	2,76	9,82	12,01	0,02

dzonych przez Odagiu i współpr.²²⁾, którzy badali skład chemiczny selera uprawianego niekonwencjonalnymi systemami, zawartość białka wynosiła 14,6 mg/g s.m.

Zawartość fosforu w badanych otrębach pszennych wynosiła 1,01 mg/g s.m. W badaniach przeprowadzonych przez Malinowską i Szefer²³⁾ otręby pszenne zawierały fosfor w ilości 8,62 mg/g s.m. Według Harasym²⁴⁾ zawartość fosforu w otrębach pszennych wynosi 6–16 mg/g s.m. Badane odpady selera charakteryzowały się znacznie większą zawartością fosforu niż otręby. Zawartość fosforu w odpadach selera wynosiła 9,82 mg/g s.m. W badaniach przeprowadzonych przez Golubkinę i współpr.²⁵⁾ zawartość fosforu w korzeniu selera wahała się w zakresie 18,6–25,6 mg/g s.m., w zależności od odmiany.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zawartość potasu oraz sodu w badanych otrębach pszennych wynosiła odpowiednio 3,38 i 0,05 mg/g s.m. Jak podaje Gąsiorowski²⁶⁾, zawartość potasu w otrębach pszennych wynosi 1–19 mg/g s.m., natomiast sodu 0,065–0,4 mg/g s.m. Badane odpady selera zawierały 12,01 mg potasu/g s.m. oraz 0,02 mg sodu/g s.m. W badaniach przeprowadzonych przez Özcan i współpr.²⁷⁾ zawartość potasu w korzeniu selera wynosiła 7,59 mg/g s.m. Zgodnie z badaniami Grbović i współpr.²⁸⁾ zawartość sodu w korzeniu selera wynosiła 0,24 mg/g s.m.

Podsumowanie i wnioski

Wytworzone granulaty otrzymane z mieszanek otrębów pszennych i odpadów selera (dodawanego w ilości 5–10%) charakteryzują się małą aktywnością wody na poziomie 0,534–0,552, dzięki czemu można uznać je za stabilne mikrobiologicznie.

Zastosowanie lepszycza w postaci poproduktowych odpadów selera pozytywnie wpłynęło na jakość otrzymanego granulatu. Dodatek 10% odpadów selera spowodował wzrost wartości wytrzymałości kinetycznej z 52,51 do 72,6%.

Zagospodarowanie odpadów selera w procesie aglomeracji ciśnieniowej w mieszankach z otrębami pszenymi spowodowało wzrost gęstości fizycznej z 1128,52 do 1192,14 kg/m³ oraz gęstości usypowej z 448,21 do 467,48 kg/m³. Uzyskany wzrost gęstości granulatu jest pożądany, gdyż produkt jest bardziej jednorodny, charakteryzuje się lepszą strukturą oraz jest mniej podatny na uszkodzenia mechaniczne (kruszenie, pylenie). Poprawa tych parametrów prowadzi do lepszej stabilności w transporcie i przechowywaniu.

Dodatek odpadów selera miał znaczący wpływ na parametry procesowe aglomeracji ciśnieniowej, powodując zmniejszenie zapotrzebowania granulatora na moc czynną z 2,23 do 2,05 kW, co stanowi spadek o 9,1%.

Ze względu na właściwości chemiczne wzrost dodatku odpadów selera podczas granulacji otrębów pszennych powoduje spadek zawartości białka w gotowym produkcie,

jednakże zwiększa zawartość makroelementów, takich jak fosfor, potas oraz sód.

Wykonane badania potwierdzają pozytywny wpływ odpadów selera jako lepszycza podczas aglomeracji ciśnieniowej otrębów pszennych. Otrzymane granulaty (o zwiększonej zawartości makroelementów, takich jak fosfor, potas oraz sód) mogą być wartościowym dodatkiem do pasz dla bydła, trzody chlewnej oraz drobiu.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy zespołowej WI/WB-IIS/5/2024 w Politechnice Białostockiej i sfinansowane z subwencji przekazanej przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Otrzymano: 28-08-2024

Zrecenzowano: 09-09-2024

Zaakceptowano: 11-09-2024

Opublikowano: 21-10-2024

LITERATURA

- [1] <https://bdl.stat.gov.pl/bdl>, dostęp 23.08.2024 r.
- [2] T. Tarko, A. Duda-Chodak, A. Bebak, *Żywn. Nauk. Technol. Jakość* 2012, **19**, nr 4, 55.
- [3] H. Kowalska, A. Marzec, J. Kowalska, K. Samborska, A. Stelmach, A. Lenart, *Przem. Spoż.* 2018, **1**, 26.
- [4] A. Fronc, A. Nawirska, *Ochr. Środ.* 1994, **53**, nr 2, 31.
- [5] M. Kowczyk-Sadowy, S. Obidziński, M. Joka, J. Piekut, *Inż. Przetw. Spoż.* 2016, **2**, 19.
- [6] S. Łaba, *Rocz. Nauk. Stow. Roln. Agrobizn.* 2012, **14**, 133.
- [7] P.L.W. Kamga, T. Vitoussia, A.N. Bissoue, E.N. Nguimbous, D.N. Dieudjio, B.V. Bot, E. Njeugna, *Energy Rep.* 2024, **11**, 1291.
- [8] S. Obidziński, P. Cwalina, M. Kowczyk-Sadowy, A. Sienkiewicz, M. Krasowska, J. Szyszlak-Bargłowicz, G. Zajac, R. Kryński, *Energies* 2024, **17**, 1508.
- [9] PN-EN ISO 18134-1:2023-02, *Biopaliwa stałe. Oznaczanie zawartości wilgoci. Cz. 1. Metoda referencyjna.*
- [10] S. Obidziński, R. Hejft, M. Dotżyńska, *Przem. Chem.* 2017, **96**, nr 11, 2360.
- [11] PN-EN ISO 17828:2016-02, *Biopaliwa stałe. Określanie gęstości nasypowej.*
- [12] PN-EN ISO 17831-1:2016-02, *Oznaczanie wytrzymałości mechanicznej peletów i brykietów. Cz. 1. Pelety.*
- [13] ISO 18787:2017, *Foodstuffs. Determination of water activity.*
- [14] P. Cwalina, S. Obidziński, K. Miastkowski, S. Wądołowski, K. Kowalczyk, *Przem. Chem.* 2023, **102**, nr 10, 1036.
- [15] K. Kowal, *Przem. Spoż.* 2012, **66**, 50.
- [16] S. Walczyński, *Pasze Przem.* 1997, **6**, 17.
- [17] A.S. Farhan, A.O. Hussein, *Kirkuk Univ. J. Agric. Sci.* 2023, **14**, 201.
- [18] M. Kowczyk-Sadowy, *Właściwości fizykochemiczne i biologiczne granulatu paszowego wytworzonego z odpadów z przetwórstwa rolno-spożywczego*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2021.
- [19] E. Çitil, T. Marakoğlu, *J. Agric. Facul. Gaziosmanpasa Univ.* 2023, **40**, nr 3, 96.
- [20] S. Zettl, D. Cree, M. Soleimani, L. Tabil, *Cogent Food Agric.* 2019, **5**, nr 1, 1656917.
- [21] M. Prückler, S. Siebenhandl-Ehn, S. Apprich, S. Höltinger, C. Haas, E. Schmid, W. Kneifel, *LWT Food Sci. Technol.* 2014, **56**, 211.
- [22] A. Odagiu, T. Rusu, C.P. Racz, C. Oroian, C. Balint, P. Burduhos, C. Malinas, C. Iederan, *ProEnviron. Promediu* 2022, **15**, nr 52, 446.
- [23] E. Malinowska, P. Szefer, *Roczn. PZH* 2005, **56**, nr 2, 171.
- [24] J. Harasym, *Prace Nauk. Univ. Ekon. Wrocław. Nauki Inż. Technol.* 2010, **2**, 64.
- [25] N.A. Golubkina, V.A. Kharchenko, A.I. Moldovan, A.A. Koshevarov, S. Zamana, S. Nadezhkin, A. Soldatenko, A. Sekara, A. Tallarita, G. Caruso, *Plant* 2020, **9**, 484.
- [26] H. Gąsiorowski, *Pszenica. Chemia i technologia*, Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań 2004.
- [27] M.M. Özcan, D.A. Kulluk, F.G. Yılmaz, N. Dursun, *Environ. Monit. Assess.* 2023, **195**, 550.
- [28] L. Grbović, S. Kevrešan, V. Ćirin-Novta, K. Kuhajda, Ž. Kevreša, K. Pavlović, B. Vasiljević, *Contemp. Agric.* 2016, **65**, 1.