

Agnieszka SAGAN<sup>1)</sup>, Dariusz ANDREJKO<sup>1)</sup>, Zofia HANUSZ<sup>2)</sup>, Beata ŚLASKA-GRZYWNA<sup>1)</sup>, Marian PANASIEWICZ<sup>3)</sup>,  
Dariusz PIEKARSKI<sup>3)</sup>, Leszek RYDZAK<sup>3)</sup>, Agnieszka STAREK<sup>1)</sup>, Agata BLICHARZ-KANIA<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz,

<sup>2)</sup> Katedra Zastosowań Matematyki i Informatyki, Zakład Statystyki Matematycznej,

<sup>3)</sup> Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych,  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

## Energetyczne aspekty płatkowania ziarna orkiszu

### Streszczenie

Celem badań była analiza nakładów energetycznych niezbędnych do wyrobu płatków zbożowych na bazie orkiszu. Do badań wykorzystano ziarno pszenicy orkisz (*Triticum spelta* L.) odmiany Schwabenkorn. Surowiec nawilżono do wilgotności 14, 18, 22 i 26%. Tak przygotowany materiał poddano badaniom wytrzymałościowym, gdzie wyznaczono energię potrzebną do zgniecenia ziarna do grubości: 0,5; 1,0 i 2,0 mm. Kolejnym etapem badań było wyznaczenie zależności pomiędzy czasem ogrzewania surowców promieniowaniem podczerwonym a energią potrzebną do zgniecenia ziarna do grubości 0,5 mm. Ziarno ogrzewano w temperaturze 180°C przez 30, 60, 90 i 120 sekund i tak przygotowany materiał poddano badaniom wytrzymałościowym. Stwierdzono, że zastosowane zabiegi wodno-ciepne wpłynęły na ilość potrzebnej energii w procesie zgniatania ziarna. Najmniejsze zużycie energii podczas zgniatania nieogrzanego ziarna orkiszu występowało w przy wilgotności surowca wynoszącej 14%. W przypadku płatkowania ziarna ogrzewanego promieniowaniem podczerwonym najmniejsze zużycie energii odnotowano dla surowca o wilgotności początkowej 18%. Wydłużanie czasu ogrzewania ziarna promieniowaniem podczerwonym powodowało obniżenie wartości energii potrzebnej do otrzymania płatków o grubości 0,5 mm.

**Słowa kluczowe:** płatkowanie, orkisz, promieniowanie podczerwone

## Energetic aspects of flaking spelt wheat grain

### Summary

The aim of the study was the analysis the energetic input necessary to manufacture flakes based on spelt wheat grain. The object of the experimental studies was spelt wheat grain (*Triticum spelta* L.) of Schwabenkorn cultivar. The material was moistened to achieve the moisture content of 14, 18, 22 and 26%. Endurance tests were performed to determine the energy necessary to crush the grain to the thickness of 0.5, 1.0 and 2.0 mm. The next stage of the study was to determine the relationship between the time of heating the material with infrared radiation and the energy required to crush the grain to the size of 0.5 mm. In order to do this, the grain was heated at the temperature of 180°C by 30, 60, 90 and 120 seconds and the material prepared in this way was subjected to a compression test. It was found that the water-heat treatment affected the amount of energy needed in the process of crushing the grain. The lowest energy consumption during crushing unheated spelt wheat grain occurred in the moisture content 14%. In the case of flaking grains heated by infrared radiation, the lowest power consumption reported for the material with initial moisture content 18%. Extension of the time infrared heating of the grain reduced the energy was required to obtain flakes with a thickness of 0.5 mm.

**Key words:** flaking, spelt wheat, infrared radiation

### Wprowadzenie

Orkisz jest jednym z najstarszych podgatunków pszenicy. Na ziemiach polskich stały by już we wczesnym średniowieczu. Później został wyparty przez inne, bardziej plenne gatunki pszenicy (Gąsiorowski, 2004; Tryburski i Babalski, 2009). Wieloletni brak zainteresowania orkiszem wpłynął pozytywnie na to zboże, dzięki czemu oparł się zabiegom uszlachetniającym, mającym na celu ulepszenie jego wymłacalności i przyswajalności nawozów sztucznych. Stąd też bardzo dobrze nadaje się do uprawy ekologicznej. Ziarno orkiszu charakteryzuje się wyższym udziałem składników odżywczych w porównaniu do pszenicy zwyczajnej.

Wysoka zawartość białka, w granicach od 14,6 do 17,4% (Abdel-Aal, 2002; Piecyk, 2009), jest wynikiem dużego udziału warstwy aleuronowej ziarniaków (Tyburski i Babalski, 2006). Zawartość tłuszczu w ziarnie orkiszu jest wyższa niż w innych pszenicach i zawiera się w granicach od 2,6 do około 4%. Charakteryzuje się on wyższym udziałem jednonienasyconych kwasów tłuszczowych w porównaniu do pszenicy zwyczajnej. Orkisz jest dobrym źródłem witamin z grupy B (PP, B1 i B2) oraz witaminy E. Skład mineralny ziarna orkiszu jest generalnie zbliżony do pszenicy zwyczajnej, zawiera jednak więcej mikroelementów, szczególnie miedzi, cynku i manganu (Czerwińska, 2009;

Grela, 1996). Podwyższona zawartość cynku może być przyczyną tolerowania glutenu z orkiszu przez osoby w niewielkim stopniu uczulone na to białko. Cynk jest ko-faktorem szeregu enzymów układu pokarmowego, przez co może wpływać na zwiększenie ich aktywności i ułatwiać trawienie alergicznych gliadyn (Waga i in., 2002).

Zaletą ziarna orkiszu jest także to, że można je wykorzystywać w różnych fazach dojrzałości. Zielone ziarno, czyli orkisz zbierany w dojrzałości młeczej, po wysuszeniu i odplewieniu może być wykorzystywany do sporządzania zup, sosów, kotletów lub jako dodatek do jogurtów. Natomiast z dojrzałego ziarna orkiszu produkuje się ziarno prażone, mąkę, płatki, kasze, otręby, makarony, pieczywo, kawę oraz piwo (Banaszkiewicz, 2011).

W przetwórstwie surowców zbożowych jednym z najważniejszych zagadnień jest wybór optymalnej metody i parametrów obróbki wodno-ciepłej, które powinny wywoływać pożądane zmiany właściwości przerabianego surowca oraz decydować o jakości gotowych produktów. Parametry te mają również wpływ na energochłonność i wydajność procesów (Marks, 2010; Panasiewicz, 2009; Panasiewicz i in., 2009). Dowilżanie ziarna oraz obróbka cieplna są szeroko stosowane w produkcji kasz i różnego rodzaju płatków zbożowych określanych mianem zbożowej galanterii śniadaniowej (breakfast cereals). Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom konsumentów dotyczącym dostępności na rynku szerokiej gamy prozdrowotnych produktów za główny cel badań przyjęto analizę nakładów energetycznych niezbędnych do wyrobu płatków zbożowych na bazie ziarna pszenicy orkisz.

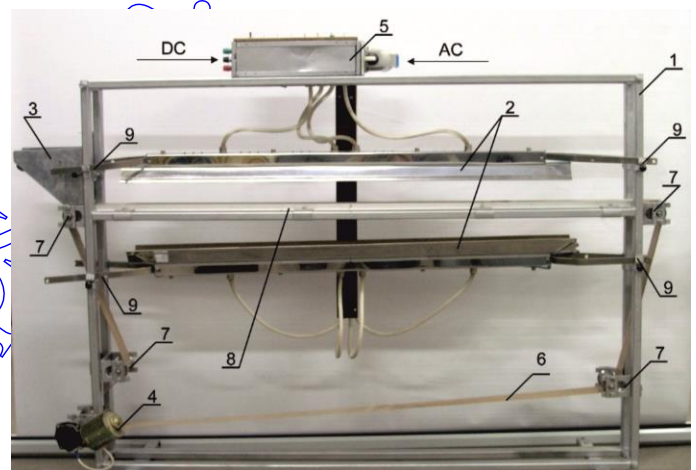
## Materiały i metody

Materiałem badawczym były ziarna pszenicy orkisz (*Triticum spelta* L.) odmiany Schwabenkorn. Surowiec dowilżono do 4 poziomów wilgotności, tj. 14, 18, 22 i 26%. Zakres wilgotności surowców został wybrany na podstawie parametrów technologicznych produkcji płatków oraz badań wstępnych. Przed przystąpieniem do dowilżania ziarna zbadano jego wilgotność według Polskiej Normy PN-EN ISO 712:2012.

Bezpośrednio po nawilżeniu surowiec był umieszczany w hermetycznych naczyniach a następnie na 24 godziny w komorze chłodniczej, w której utrzymywano temperaturę około 4°C. Przed pomiarem próbkę wyjmowano z komory chłodniczej na 2 godziny wcześniej, co miało na celu wyrównanie temperatury surowca z temperaturą otoczenia. Przeprowadzono badania wytrzymałościowe, gdzie wyznaczono energię potrzebną do zgniecenia ziarna do grubości: 0,5; 1,0 i 2,0 mm. Wszystkie uzyskane wyniki badań były analizowane w funkcji założonej wilgotności surowców. Testy przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej Instron 4302 wyposażonej w głowicę o maksymalnej sile nacisku 1kN. Prędkość elementu obciążającego wynosiła 10 mm·min<sup>-1</sup>. Badania przeprowadzono w 10 powtórzeniach, jako wynik przyjmowano średnią arytmetyczną z tych powtórzeń. Podczas pomiarów zastosowano test ściskania jednoosiowego ziaren pomiędzy równoległymi płytami. Pomiary energii zgniatania prowadzono do chwili osiągnięcia stałych odległości pomiędzy płytami wynoszących: 0,5, 1,0 i 2,0 mm.

Każdorazowo, po przeprowadzeniu testu odczytywana była wielkość energii potrzebnej do zgniecenia ziarna do założonej w programie badawczym grubości, wyliczana za pomocą oprogramowania firmy Instron.

Kolejnym etapem badań było wyznaczenie zależności pomiędzy czasem ogrzewania surowców promieniowaniem podczerwonym a energią potrzebną do zgniecenia ziarna do grubości 0,5 mm. Ziarno ogrzewano w temperaturze 180°C przez 30, 60, 90 i 120 sekund. Badania przeprowadzono na ziarnach o wilgotności początkowej 14, 18, 22, 26%. Ogrzewanie badanego surowca promieniowaniem podczerwonym przeprowadzono korzystając ze stanowiska zaprojektowanego i wykonanego przez Andrejko (2004). W laboratoryjnym urządzeniu do obróbki cieplnej promieniowanie podczerwone emitowane było przez 8 niezależnie zasilanych promienników, po 4 w każdej sekcji (rys. 1). Ze względu na swoją budowę promienniki płaszczyznowe ogrzewały równomiernie wszystkie punkty powierzchni taśmy przenośnika w strefie ogrzewania. Średnia temperatura powierzchni żarnika wynosiła około 500°C, a długość emitowanej fali  $\lambda = 2,5-3,0 \mu\text{m}$ . Jako temperaturę procesu przyjęto temperaturę powierzchni taśmy przenośnika, którą kontrolowano za pomocą pirometru.



Rys. 1. Przykład rozwiązania laboratoryjnego urządzenia do obróbki cieplnej promieniowaniem podczerwonym ziarnistych surowców roślinnych: 1 – rama nośna, 2 – głowica z 4 niezależnie zasilanymi promiennikami, 3 – kosz zasypowy, 4 – silnik prądu stałego, 5 – moduł sterujący, 6 – taśma przenośnika, 7 – rolki, 8 – strefa ogrzewania, 9 – regulacja ustawienia głowicy (Andrejko, 2004)

Fig. 1. An example of a laboratory solution regarding a device for thermal processing of grain material with the use of infrared radiation: 1 – frame, 2 – head with four independently powered lamps, 3 – intake hopper, 4 – DC motor, 5 – steering module, 6 – conveyor belt, 7 – rolls, 8 – heating area, 9 – regulation of head position (Andrejko, 2004)

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Obliczenia zostały przeprowadzone w programie SAS Enterprise Guide 5.1, przyjmując we wszystkich analizach statystycznych poziom istotności  $\alpha = 0,05$ .

## Wyniki i dyskusja

Do analizy wpływu wilgotności ziarna orkiszu i grubości płatków na zużycie energii podczas zgniatania pojedynczych ziaren wykorzystano podwójną klasyfikację krzyżową z interakcją. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Współczynnik determinacji  $R^2$  wynosił 0,89, co świadczy o dobrym dopasowaniu modelu.

Tabela 1. Wyniki analizy wariancji zużycia energii zgniatania w zależności od wilgotności ziarna i grubości płatków

Table 1. The table of variance analysis for the energy of crushing depending on grain moisture content and flake thickness

Czynnik Source of variation	P
Zawartość wody (%) Moisture content (%)	< 0,0001
Grubość płatków (mm) Flake thickness (mm)	< 0,0001
Zawartość wody*Grubość płatków Moisture content*Flake thickness	0,0097

Ponieważ wszystkie poziomy krytyczne (tab. 1) są mniejsze od poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ , zatem można wnioskować, że wilgotność ziarna, grubość płatków oraz interakcja wilgotności i grubości istotnie różnicują zużycie energii. W związku z tym dokonano szczegółowej analizy porównawczej w oparciu o jednoczesne porównania Tukey'a. Odpowiednie średnie zużycia energii przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki jednoczesnych porównań Tukey'a dla średnich energii w zależności od wilgotności ziarna i grubości płatków

Table 2. The results of simultaneous Tukey's comparisons for mean energy depending on grain moisture content and flake thickness

Zawartość wody (%) Moisture content (%)	14	18	22	26
Średnia energia zgniatania (J) Mean energy of crushing (J)	0,152 <sup>c</sup>	0,187 <sup>AB</sup>	0,199 <sup>A</sup>	0,165 <sup>BC</sup>
Grubość (mm) Thickness (mm)	0,5	1,0	2,0	
Średnia energia zgniatania (J) Mean energy of crushing (J)	0,308 <sup>a</sup>	0,122 <sup>b</sup>	0,097 <sup>a</sup>	

Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$

Mean values marked with the same letter do not differ significantly at the significance level of  $\alpha = 0.05$

Największe średnie zużycie energii wynoszące 0,199 J odnotowano podczas zgniatania ziarna o wilgotności 22%, a najmniejsze w przypadku ziarna o wilgotności 14% (0,152 J). Nie stwierdzono istotnych różnic w zużyciu energii ziarna o wilgotności 22% i 18% a także 26% i 14%. Stwierdzono istotne zróżnicowanie zużycia energii w przypadku otrzymywania trzech grubości płatków. Największe przeciętne zużycie energii 0,308 J wystąpiło podczas zgniatania ziarna do grubości 0,5 mm.

Z uwagi na to, że ziarno o wilgotności 26% po obróbce cieplnej dłuższe niż 90 s okazało się bardzo plastyczne i tym samym trudne do badań wytrzymałościowych (zbyt duży współczynnik zmienności, powyżej 70%) wyników tych nie uwzględniono w analizie. Do analizy statystycznej wpływu wilgotności ziarna orkiszu i czasu ogrzewania na zużycie energii zgniatania wykorzystano podwójną klasyfikację krzyżową z interakcją. Uzyskane wyniki przedsta-

wiono w tabeli 3. Współczynnik determinacji  $R^2$  wynosił 0,97 co świadczy o bardzo dobrym dopasowaniu modelu.

Tabela 3. Wyniki analizy wariancji zużycia energii w zależności od wilgotności ziarna i czasu ogrzewania

Table 3. The table of variance analysis for the energy of crushing depending on grain moisture content and heating time

Czynnik Source of variation	P
Zawartość wody (%) Moisture content (%)	< 0,0001
Czas ogrzewania (s) Heating time (s)	< 0,0001
Zawartość wody*Czas ogrzewania Moisture content*Heating time	< 0,0001

Ponieważ wszystkie poziomy krytyczne (tab. 3) są mniejsze od poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ , zatem możemy wnioskować, że wilgotność ziarna, czas ogrzewania oraz interakcja wilgotności i czasu istotnie różnicują zużycie energii. W dalszej kolejności dokonano szczegółowej analizy porównawczej w oparciu o jednoczesne porównania Tukey'a. Odpowiednie średnie zużycie energii przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki jednoczesnych porównań Tukey'a dla średnich energii w zależności od wilgotności ziarna i czasu ogrzewania

Table 4. The results of simultaneous Tukey's comparisons for mean energy depending on grain moisture content and heating time

Zawartość wody (%) Moisture content (%)	14	18	22	
Średnia energia zgniatania (J) Mean energy of crushing (J)	0,854 <sup>A</sup>	0,240 <sup>c</sup>	0,346 <sup>B</sup>	
Czas ogrzewania (s) Heating time (s)	30	60	90	120
Średnia energia zgniatania (J) Mean energy of crushing (J)	0,555 <sup>a</sup>	0,479 <sup>b</sup>	0,456 <sup>bc</sup>	0,429 <sup>c</sup>

Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$

Mean values marked with the same letter do not differ significantly at the significance level of  $\alpha = 0.05$

Analiza wpływu początkowej wilgotności ogrzewanego ziarna orkiszu na średnie zużycie energii wykazała, że największą wartość wynoszącą 0,854 J odnotowano podczas zgniatania ziarna o wilgotności 14%. Była ona istotnie wyższa niż przeciętne zużycie energii przy zgniataniu ziarna o wilgotności 18% oraz 22%. Natomiast najmniejsze średnie zużycie energii występowało przy zgniataniu ziarna o wilgotności 18%. Stwierdzono, że wydłużanie czasu ogrzewania ziarna promieniowaniem podczerwonym powodowało obniżenie wartości energii potrzebnej do otrzymania płatków o grubości 0,5 mm.

## Podsumowanie i wnioski

Konieczność precyzyjnego ustalania wymaganych parametrów obróbki wodno-ciepłej oraz wyznaczników energii ma szczególne znaczenie w preparowaniu i przerobieniu pszenicy orkisz na tradycyjne i instantyzowane produkty z tego surowca. Jak wykazała analiza uzyskanych wyników badań złożony układ oddziaływania na ziarno wilgotności

i temperatury, są determinującymi czynnikami pozwalającymi określić obszar optymalnych warunków zgniatania ziarna (wytwarzania płatków), przy najbardziej korzystnym zakresie zapotrzebowania na energię. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że:

- 1) najmniejsze zużycie energii podczas zgniatania nieogrzewanego ziarna orkiszu występowało w przy wilgotności surowca wynoszącej 14%,
- 2) w przypadku zgniatania ziarna orkiszu ogrzewanego promieniowaniem podczerwonym, najmniejsze zużycie energii odnotowano dla surowca o wilgotności początkowej 18%,
- 3) wydłużanie czasu ogrzewania ziarna promieniowaniem podczerwonym powodowało obniżenie wartości energii potrzebnej do otrzymania płatków o grubości 0,5 mm.

Należy również dodać, iż zaproponowana w pracy nowa metoda obróbki nawilżonego ziarna promieniami podczerwonymi pozwoliła poszerzyć obszar metod tzw. preparowania ziarna pszenicy orkiszu metodami fizycznymi, z możliwością ich przeniesienia i wykorzystania w przerobie innych rodzajów ziarna i nasion. Jednocześnie metoda ta daje inne od dotychczasowych możliwości wykorzystania ziarna pszenicy orkiszu w produkcji wielu produktów spożywczych.

#### Bibliografia

- Abdel-Aal, E.S.M., Huclw, P. (2002). Amino acid composition and in vitro protein digestibility of selected ancient wheats and their end products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15, 737–747.
- Andrejko, D. (2004). Zmiany właściwości fizycznych nasion soi pod wpływem promieniowania podczerwonego. *Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie*, 288, 61-63.
- Banaszkiewicz, T. (2011). Pszenica orkisz w żywieniu człowieka. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 9, 18-20.
- Czerwińska, D. (2009). Walory żywieniowe i zastosowanie orkiszu. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 2, 14-15.
- Gąsiorowski, H. (2004). Pszenica orkisz- zboże ekologiczne. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 48(5), 13-14.
- Grela, E.R. (1996). Nutrient composition and content of antinutritional factors in spelt (*Triticum spelta* L.) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 71, 399-404.
- Marks, N. (2010). Wpływ wilgotności na zużycie energii bezpośredniej w procesie rozdrabniania ziarna żyta i pszenżyta. *Inżynieria Rolnicza*, 7(125), 125-130.
- Panasiewicz, M. (2009). An influence of kernel conditioning method on energy consumption during flaking process. *TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa – OL PAN*, 9, 211-216.
- Panasiewicz, M., Zawisłak, K., Sobczak, P. (2009). Wpływ nawilżania parą wodną ziarniaków jęczmienia na energochłonność procesu ich płatkowania. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 48(1), 54-55.
- Piecyk, M., Kulka, D., Worobiej, E. (2009). The characteristic and nutritional value of spelt grain and its products. *Bromatologia Chemia Toksykologia*, 3, 247-251.
- PN-EN ISO 712:2012. Ziarno zbóż i przetwory zbożowe. *Oznaczanie wilgotności. Metoda odwoławcza*.
- Tyburski, J., Babalski, M. (2006). Uprawa pszenicy orkiszu. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Radomiu, Radom, ISBN 83-60185-26-3.
- Waga, J., Węgrzyn, S., Boros, D., Cygankiewicz, A. (2002). Utilization of spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *Spelta*) for improving the nutritional qualities of common wheat (*Triticum aestivum* ssp. *Vulgare*). *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 221, 3-16.

**Agnieszka Sagan**

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz  
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin  
e-mail: [agnieszka.sagan@up.lublin.pl](mailto:agnieszka.sagan@up.lublin.pl)