

WPLYW IMPREGNACJI PRÓŻNIOWEJ I OBRÓBKII PROMIENIOWANIEM PODCZERWONYM NA ENERGOCHŁONNOŚĆ PRZEMIAŁU ZIARNA ŻYTA*

Leszek Rydzak

Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Dariusz Andrejko, Agnieszka Sagan

Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Piotr Nakonieczny

Katedra Chłodnictwa i Energetyki Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. W pracy zaprezentowano wyniki badań energochłonności procesu przemiału ziarna żyta. Ziarno przygotowano do przemiału przez zastosowanie połączonych zabiegów impregnacji próżniowej w ciśnieniu 5 i 100 kPa oraz obróbki promieniowaniem podczerwonym w temperaturze 180°C i czasie 90 i 150 s w różnych wariantach. Przemiał ziarna wykonywany był na młynku laboratoryjnym Quadrumat Junior. Energochłonność procesu mierzono za pomocą przetwornika Lumel 55 jako różnicę mocy czynnej pobieranej przez młynnik w stanie obciążenia i w stanie jałowym w odniesieniu do jednostki masy ziarna. Stwierdzono, że sposób przygotowania ziarna do przemiału ma istotny wpływ na energochłonność przemiału. Zastosowanie kolejno po sobie procesów impregnacji i mikronizacji powodowało wzrost zapotrzebowania energii na proces przemiału. Zapotrzebowanie to było znacznie większe w przypadku zastosowania impregnacji w ciśnieniu 5 kPa.

Słowa kluczowe: impregnacja próżniowa, obróbka promieniowaniem podczerwonym, przemiał, żyto, energochłonność

Wstęp

Na proces rozdrabniania ziarna żyta wpływa szereg różnorodnych czynników, wśród których najważniejsze są jego właściwości fizyczne [Dziki, Laskowski 2004; Dziki i in. 2011]. Analiza literatury dotyczącej energochłonności przemiału pozwala stwierdzić, że jedną z najważniejszych spośród nich jest wilgotność ziarna (w odniesieniu do wskaźnika agregatowego W_A) [Drózd 2010; Marks 2010].

* Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr N N 312 162234

Znaczącą rolę w przygotowaniu żyta i pszenicy do przemiału pełnią operacje hydrotermiczne prowadzone przed rozdrabnianiem. Prawidłowo przeprowadzone mają decydujący wpływ na wartość wskaźnika wyciągu mąk białych oraz na jakość otrzymywanych produktów przemiału. Ponadto zapewniają one optymalne warunki pracy urządzeń rozdrabniających, nadając ziarnu równomierny stan przemiałowy poprzez zapewnienie mu cech takich jak: kruchość bielma oraz ciągliwość i elastyczność okrywy [Kiryluk i in. 1999].

W przetwórstwie zbożowym wilgotność ziarna jest jednym z podstawowych kryteriów oceny jego stanu i przydatności technologicznej. Stąd w procesie produkcji różnych wyrobów tej branży często występują operacje nawilżania. Nawilżanie prowadzi się na różnych etapach ciągu technologicznego, w produkcji mąki odbywa się to bezpośrednio po oczyszczeniu surowców ziarnistych (przed rozdrabnianiem) [Jankowski 1988].

Nawilżanie prowadzone jest między innymi przed przemiałem ziarna pszenic i żyta w celu uelastycznienia okrywy i oddzielenia jej od bielma. Dobrze nawilżone ziarno to takie, którego cała powierzchnia zewnętrzna (okrywa) jest równomiernie nawilżona i to niezależnie od stopnia jej dowlżenia. Okrywa wtedy nie rozkrusza się podczas śrutowania i wydziela się łatwo w odsiewaczu lub wialni kaszkowej [Kowalewski 1992].

Ziarno kierowane do przemiału powinno charakteryzować się zróżnicowaną wilgotnością bielma w stosunku do okrywy. Różnica ta powinna wynosić około 2%. Zbyt duża różnica wilgotności okrywy i bielma wpływa bowiem niekorzystnie na właściwości przemiałowe, gdyż zwiększa sprężystość i plastyczność ziarna co prowadzi do wzrostu jednostkowego zapotrzebowania energii w trakcie rozdrabniania [Jurga 1997].

W praktyce stosuje się różnorodne stopnie nawilżenia. Najczęściej surowiec jest dowlżany do poziomu wilgotności około 16–18%, ale spotyka się też technologie wymagające wilgotności na wyższym poziomie, sięgającym 40–44%. Wśród nich najbardziej popularną metodą w produkcji izolatów skrobiowych, białkowych, czy tłuszczowych jest rozdrabnianie na mokro (wet milling) [Muthukumarappan i in. 1992]. Ziarna np. kukurydzy są moczone w wodzie o temperaturze 50°C przez 40 do 60 h, do osiągnięcia wilgotności około 45%. Efektem takiego termicznego oddziaływania jest rozluźnienie bielma i uzyskanie preparowanej skrobi o odpowiedniej lepkości [Gunasekaran i in. 1988].

Moczenie jest często stosowane w produkcji żywności wygodnej [Abu Ghannam 1998]. Podobnie jest też w innych procesach termicznych. Niektóre z nich wymagają dowlżenia surowca nawet do 30%.

Ziarna są również moczone powierzchniowo w krótkim czasie w celu uelastycznienia warstwy zewnętrznej przed polerowaniem [Igathinathane i in. 1997] oraz obłuskiwaniem [Andrejko 1995, Grochowicz i in. 1994]. Warto zwrócić uwagę na fakt, że część badaczy nie podaje wartości wilgotności końcowej po nawilżeniu przed przemiałem, zwracając raczej uwagę na równomierność rozprowadzenia wody po okrywie.

W ramach pracy w celu nawilżenia surowca wykorzystano technikę impregnacji próżniowej, jedną z nowych technik w przetwórstwie żywności, która pozwala na znaczne zintensyfikowanie procesu wymiany masy w układzie ciało stałe – ciecz, co w konsekwencji powoduje równomierne nawilżenie ziarna w jego warstwie zewnętrznej, bez nawilżania bielma [Betoret i in. 2003; Chiralt i in. 2001; Chafer i in. 2001; Fito i in. 1996; Fito i in. 2001]. Ziarno poddane impregnacji próżniowej charakteryzuje się jednak zbyt wysoką wilgotnością, przekraczającą w niektórych wypadkach nawet 20%, aby mogło być skierowane bezpośrednio do przemiału. Stąd zaproponowana technika obróbki promieniowaniem podczerwonym (mikronizacja), dająca możliwość praktycznie dowolnego ustalenia wilgotności przed przemiałem, jak też zapewniająca korzystne zmiany w strukturze ziarna. Do-

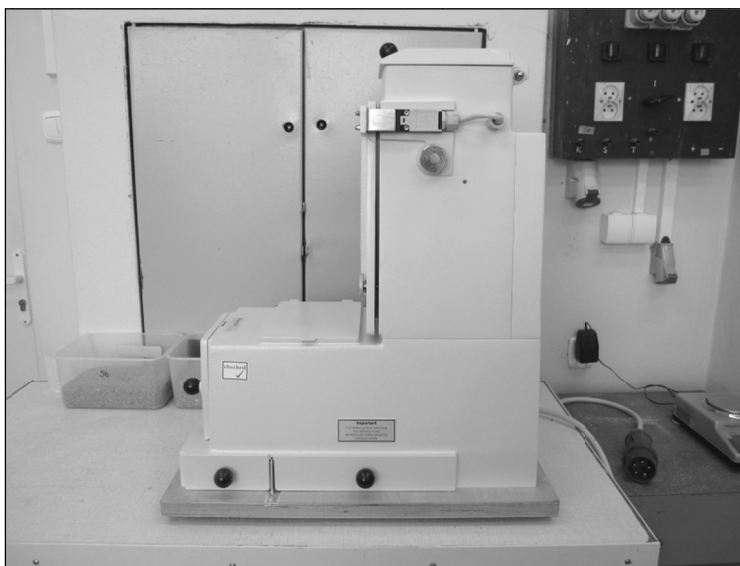
datkową zaletą tego procesu jest fakt, że czasy ekspozycji ziarna promieniowaniem podczerwonym są bardzo krótkie (do 3 min).

Cel pracy

Celem pracy było określenie wpływu impregnacji próżniowej i obróbki promieniowaniem podczerwonym ziarna żyta na energochłonność przemiału. Procesy te realizowano w różnych warunkach, opisanych szczegółowo w dalszej części pracy, a ich dobór wynikał z przeprowadzonych wcześniej badań wstępnych.

Metodyka

Badaniom poddano ziarno żyta (tzw. technologiczne mieszanki odmianowe), pochodzące z linii produkcyjnej jednego z potentatów rynku mąki w Polsce. Ziarno nawilżano wstępnie do kilku poziomów wilgotności. Przemiał ziarna wykonywany był na młynku laboratoryjnym Quadrumat Junior zaprezentowanym na rys. 1.



Rys. 1. Młynek laboratoryjny Quadrumat Junior

Fig. 1. Laboratory mill Quadrumat Junior

Jest to czterowalcowy młynek laboratoryjny z systemem aspiracji oraz odsiewaczem bębnowym. Określenie wilgotności surowca po i przed nawilżeniem, jak również wilgotności mąki i otrąb uzyskanych w wyniku przemiału, przeprowadzono metodą suszarkową zgodnie z normą PN-86/A-74011. Na wadze laboratoryjnej o dokładności 10^{-2} g odważono

po 500 g każdego rodzaju ziarna, przesypano do pojemników, a następnie dolano odpowiednią ilość wody, obliczoną tak, aby uzyskać żądane wilgotności ziarna. Następnie szczelnie zamknięto pojemniki z surowcem, po uprzednim pomieszaniu, umieszczono je w chłodziarce na okres 72 godzin.

Podczas przemiału dokonano pomiaru energochłonności procesu rozdrabniania ziarna pszenicy na młynku laboratoryjnym Quadrumat Junior za pomocą przetwornika Lumel PP83. Badania wykonano w 5 powtórzeniach. Przetwornik ten mierzy moc czynną pobieraną przez młynek z częstotliwością próbkowania 100 Hz. Energochłonność (wskaźnik energochłonności) w niniejszej pracy oznacza ilość zużytej do przemiału ziarna energii czynnej prądu elektrycznego w odniesieniu do jednostki masy ziarna poddanego przemiałowi (1) i w podobnej formie jest stosowany przez różnych badaczy [Janus 2002].

Wskaźnik energochłonności k wyraża się zależnością:

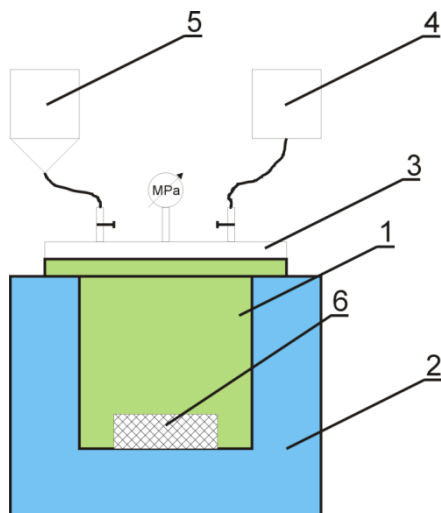
$$k = \frac{P_p - P_j}{m} \quad (1)$$

gdzie:

- k – energochłonność przemiału [$\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}$],
- P_p – moc czynna pobrana przez młyn w stanie obciążenia [kWh],
- P_j – moc czynna pobierana przez młyn w stanie jałowym [kWh],
- m – masa ziarna [t].

Impregnacja ziarna

Proces impregnacji prowadzony był w komorze próżniowej o pojemności około 2 dm^3 , współpracującej z pompą próżniową umożliwiającą regulację ciśnienia w komorze w zakresie 5–100 kPa. Stanowisko pomiarowe zaprezentowano na rys. 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego do badania procesu impregnacji próżniowej: 1 – komora próżniowa, 2 – ultra-termostat, 3 – pokrywa, 4 – pompa próżniowa, 5 – zbiornik, 6 – pojemnik na surowiec

Fig. 2. Schematic representation of the laboratory stand for testing vacuum impregnation: 1 – vacuum chamber, 2 – ultra thermostat, 3 – cover, 4 – vacuum pump, 5 – tank, 6 – container for raw material

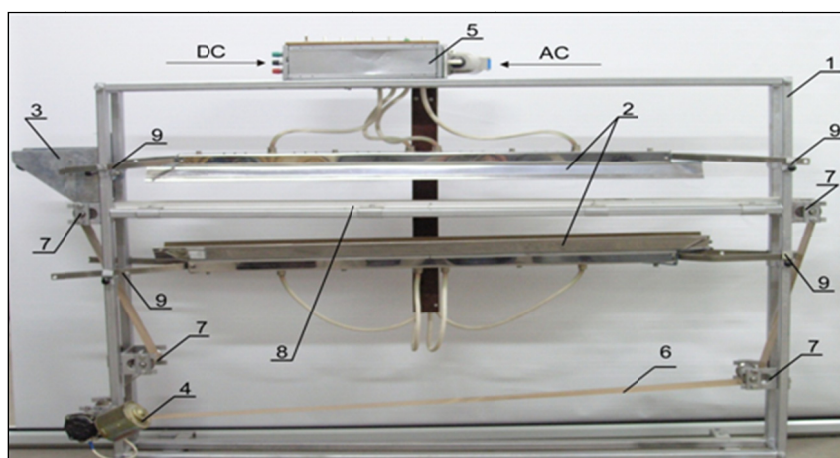
Po umieszczeniu komory próżniowej w ultratermostacie ustalano temperaturę procesu nawilżania. Zastosowano temperaturę 15°C. Woda nawilżająca miała temperaturę zbliżoną do temperatury panującej w komorze. Różnice tych temperatur wynosiły nie więcej niż $\pm 2^\circ\text{C}$. Następnie umieszczano w niej pojemnik na surowiec z odważoną próbką surowca o masie około 100 g.

Następnie po wypełnieniu przewodów hydraulicznych wodą, zamykano komorę i po otwarciu zaworu łączącego z pompą próżniową ustalano poziom ciśnienia. Stosowano ciśnienia 5 oraz 100 kPa - ciśnienie atmosferyczne (próba kontrolna). Po ustaleniu ciśnienia zamykano zawór łączący ze zbiornikiem wodnym. Próbka każdorazowo zalewana była porcją wody o objętości około 0,2 dm³. W trakcie zalewania próbki wodą, wraz ze wzrostem stopnia wypełnienia komory obserwowano nieznaczny wzrost ciśnienia w komorze. Próba kontrolna nawilżana była podobnie w warunkach ciśnienia atmosferycznego.

Następnie doprowadzano ciśnienie w komorze do atmosferycznego w ciągu 1 s. Pobierano próby bezpośrednio po impregnacji (około 30 sekundowy kontakt z wodą).

Ogrzewanie promieniowaniem podczerwonym

Proces ogrzewania ziarna promieniami podczerwonymi przeprowadzono korzystając ze stanowiska zaprojektowanego i wykonanego przez Andrejko [2004]. Głównymi elementami stanowiska (rys. 3) są: rama nośna 1, przenośnik taśmowy oraz układ grzejny z płynną regulacją temperatury. Surowiec zasypywany jest do kosza 3 wyposażonego w zasuwę i następnie podawany jest na taśmę przenośnika (jedna warstwa).



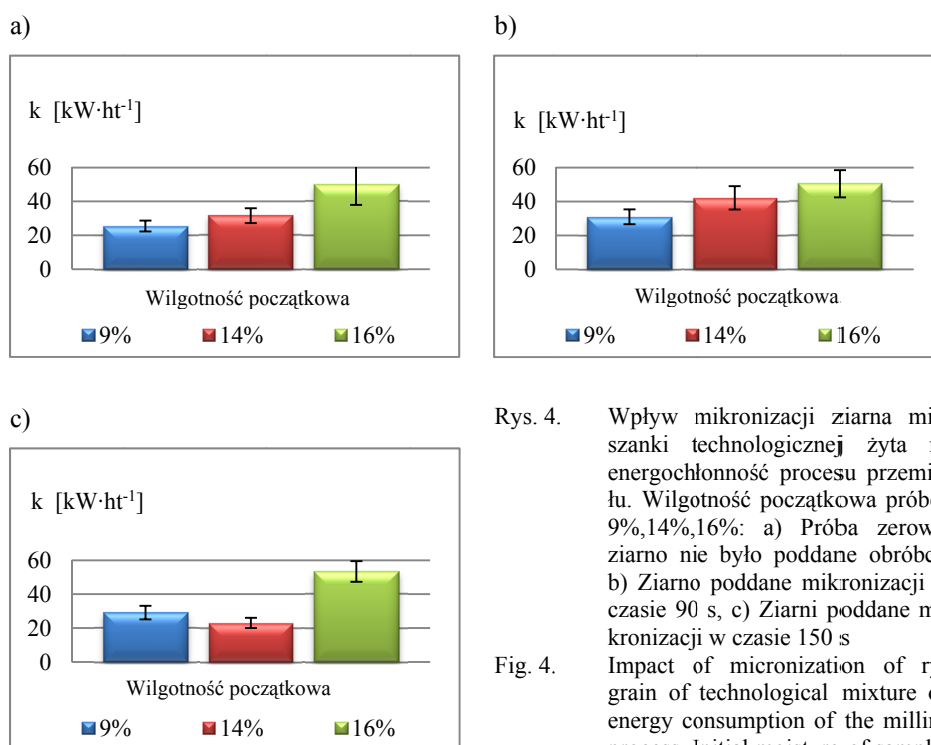
Rys. 3. Laboracyjne urządzenie do obróbki promieniami podczerwonymi ziarnistych surowców roślinnych; 1 – rama nośna, 2 – głowica z 4 niezależnie zasilanymi promiennikami, 3 – kosz zasypowy, 4 – silnik prądu stałego, 5 – moduł sterujący, 6 – taśma przenośnika, 7 – rolki, 8 – strefa ogrzewania, 9 – regulacja ustawienia głowic

Fig. 3. Laboratory device for infrared rays treatment of granular plant raw materials; 1 – frame bearer, 2 – head with 4 separately supplied radiators, 3 – charging hopper, 4 – direct current engine, 5 – control module, 6 – conveyor belt, 7 – rolls, 8 – heating zone, 9 – control of heads position

Materiał znajdujący się na taśmie przenośnika przesuwa się do strefy ogrzewania 8, gdzie poddawany jest działaniu promieni podczerwonych. Promieniowanie podczerwone emitowane jest przez 8 niezależnie zasilanych promienników (po 4 w każdej sekcji). W badaniach zastosowano następujące parametry mikronizacji: czas 90 i 150 s oraz temperatura 180°C.

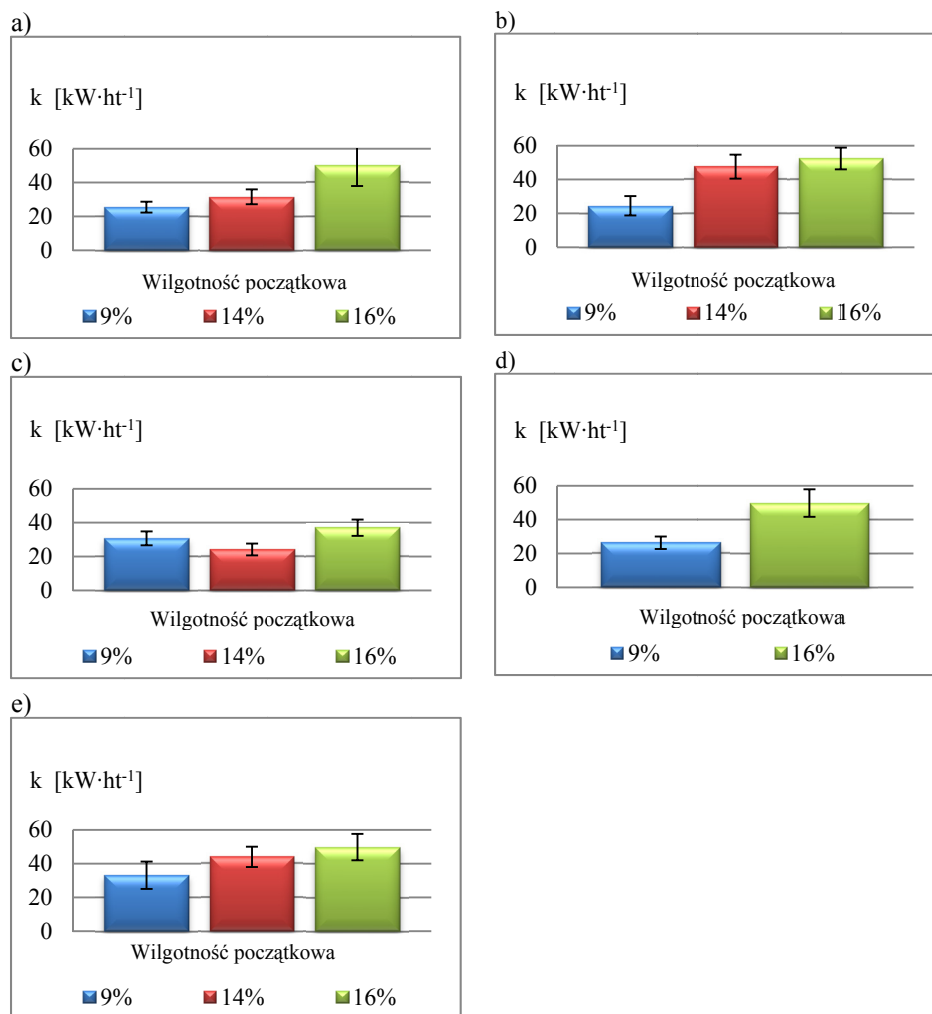
Wyniki badań i ich analiza

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wykresy zawierające zestawienie wyników badań energochłonności procesu przemiału technologicznej mieszanki odmianowej żyta. Próbki użyte do eksperymentów miały wilgotność początkową 9%, 14% i 16%. Wykonanie próby przemiału dla ziarna o wilgotności 14% poddanego nawilżaniu w ciśnieniu 5 kPa i mikronizacji w czasie 90 s było niemożliwe ze względu na blokowanie się młynka laboratoryjnego. Różne zastosowane sposoby obróbki wstępnej żyta powodowały wzrost zapotrzebowania energii na realizację procesu przemiału.



Rys. 4. Wpływ mikronizacji ziarna mieszanki technologicznej żyta na energochłonność procesu przemiału. Wilgotność początkowa próbek 9%,14%,16%: a) Próba zerowa, ziarno nie było poddane obróbce, b) Ziarno poddane mikronizacji w czasie 90 s, c) Ziarno poddane mikronizacji w czasie 150 s

Fig. 4. Impact of micronization of rye grain of technological mixture on energy consumption of the milling process. Initial moisture of samples 9%, 14%, 16%: a) Blank test, grain was not treated, b) Grain subjected to micronization in 90 s, c) Grain subjected to micronization in 150 s



Rys. 5 Wpływ kolejno następujących po sobie procesów impregnacji i mikronizacji na energochłonność procesu przemiału ziarna mieszanki technologicznej żyta. Wilgotność początkowa próbek 9%,14%,16%: a) Próba zerowa, ziarno nie było poddawane obróbce, b) Impregnacja ziarna w ciśnieniu atmosferycznym, mikronizacja w czasie 90 s, c) Impregnacja ziarna w ciśnieniu atmosferycznym, mikronizacja w czasie 150 s, d) Impregnacja próżniowa ziarna w ciśnieniu 5 kPa, mikronizacja w czasie 90 s, e) Impregnacja próżniowa ziarna w ciśnieniu 5 kPa, mikronizacja w czasie 150 s

Fig. 5. Impact of subsequent impregnation and micronization processes on energy consumption of the milling process of rye grain of technological mixture. Initial moisture of samples 9%, 14%, 16%: a) Blank test, grain was not treated, b) Grain impregnation in atmospheric pressure, micronization in 90 s, c) Grain impregnation in atmospheric pressure, micronization in 150 s, d) Grain vacuum impregnation in pressure of 5 kPa, micronization in 90 s, e) Grain vacuum impregnation in pressure of 5 kPa, micronization in 150 s

Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. Zastosowanie kolejno po sobie następujących procesów impregnacji i mikronizacji powodowało wzrost energochłonności procesu przemiału. Wzrost ten był większy w przypadku zastosowania impregnacji próżniowej jako obróbki wstępnej i malał wraz ze wzrostem wilgotności początkowej ziarna. Impregnacja próżniowa powoduje więc wzrost energochłonności przemiału, ale jest on niewielki dla ziarna o wyższej wilgotności początkowej. Dla ziarna o wilgotności 9% wzrost ten sięgał 50%, dla ziarna o wilgotności 16% był statystycznie nieistotny.
2. Mikronizacja ziarna żyta przed przemiałem (bez wcześniejszej impregnacji) powodowała również wzrost energochłonności procesu. W przypadku próby o wilgotności 9% energochłonność przemiału ziarna mikronizowanego wzrosła o 45%. Dla ziarna o wilgotności 16% wpływ przeprowadzonej mikronizacji na energochłonność procesu był statystycznie nieistotny.

Bibliografia

- Abu Ghannam N.** (1998): Modelling Textural Changes During the Hydration Process of Red Beans. *Journ. of Food Eng.*, 38, 341-352.
- Andrejko D.** (1995): Badanie wpływu niektórych czynników na efektywność obłuskiwania nasion łubinów. Rozprawa doktorska. Lublin.
- Betoret N., Puente L., Diaz M.J., Pagan M.J., Garcia M.J., Gras M.L., Martinez-Monzo J., Fito P.** (2003): Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, 56, 273-277.
- Chafer M., Gonzales-Martinez C., Ortola M.D., Chiralt A., Fito P.** (2001): Orange peel products obtained by osmotic dehydration. *Osmotic dehydration and Vacuum Impregnation. Application in Food Industries*. Lancaster Technomic Publishing Co, 93-106.
- Chiralt A., Fito P., Barat J.M., Andres A., Gonzalez-Martinez C., Esriche I., Camacho M.M.** (2001): Use of vacuum impregnation in food salting process. *Journal of Food Engineering*, 49, 141-151.
- Drózd B.** (2010): Effectiveness of electrical energy consumption in milling plant. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Agriculture*, No 56, 57-65.
- Dziki D., Różyło R., Laskowski J., Grundas S.** (2011): Ocena właściwości fizycznych ziarna pszenicy przy wykorzystaniu analizatora pojedynczych ziarniaków. *Inżynieria Rolnicza*, 1(126), 39-46.
- Dziki D., Laskowski J.** (2004): Wpływ cech ziarna żyta na proces rozdrabniania. *Inżynieria Rolnicza*, 5(60), 101-108.
- Fito P., Andres A., Chiralt A., Pardo O.** (1996): Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous-liquid systems. *Journal of Food Engineering*, 27, 229-240.
- Fito P., Chiralt A., Barat J.M., Andres A., Martinez-Monzo J., Martinez-Navarrete.** (2001): Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49, 297-302.
- Grochowicz J., Andrejko D., Góral D.** (1994): Wpływ zawartości wody na niektóre właściwości fizyczne nasion łubinu żółtego. *Post. Techn. Przetw. Spoż.*, 1, 7-11.
- Gunasekaran S., Farkas D.F.** (1988): High pressure hydration of corn. *Trans. of the ASAE*, (31)5, 1589-1593.

- Igathinathane C., Chattopadhyay P.K.** (1997): Mathematical Prediction of Moisture Profile in Layers of Grain during Pre-conditioning. *Journ. of Food Eng.*, 31, 185-197.
- Jankowski S.** (1988): Surowce mączne i kaszowe. WNT. Warszawa.
- Janus P.**, (2002): Method of measurement of effective energy in food processing based on the individual losses of the motor and the working machine. *Acta Sci.Pol., Technol. Aliment.*, 1(1), 103-111.
- Jurga R.** (1997): Przetwórstwo zbóż cz.I. WSiP. Warszawa.
- Kiryłuk J., Gašiorowski H.** (1999): Ocena wartości technologicznej pszenicy metodą przemiału laboratoryjnego. *Prz. Zboż-Młyn.*, 43(11), 15-17.
- Kowalewski W.** (1992): Przydatność krajowych nawilzaczy intensywnych. Ocena na podstawie badań CLTPiPZ. *Przeł Zboż. Młyn.*, 7, 2-3.
- Marks N.** (2010): Wpływ wilgotności na zużycie energii bezpośredniej w procesie rozdrabniania ziarna żyta i pszenżyta. *Inżynieria Rolnicza*, 7(125), 125-130
- Muthukumarappan K., Gunasekaran S.** (1992): Above - atmospheric hydration of corn. *Trans. of the ASAE*, (35)6, 1885-1889.

THE INFLUENCE OF VACUUM IMPREGNATION AND INFRARED RADIATION HEAT TREATMENT OF RYE GRAIN ON ENERGY CONSUMPTION OF THE MILLING PROCESS

Abstract. The paper presents the results of studies on energy consumption of rye grain milling process. The material was preliminary soaked to a few different levels of moisture content. The milling process was carried out on the laboratory mill Quadrumat Junior, and the energy intensity was tested by Lumel PP83 gauge. The grain was prepared for milling through the application of combined treatments of vacuum impregnation at pressures of 5 and 100 kPa and IR treatment at temperatures of 150 and 180°C during 90 and 150 s in various variants. It was found that the method of grain preparation for milling affected the energy consumption. The consecutive application of the processes of impregnation and micronization caused an increase in the energy requirements of the grain milling process. That energy requirement was higher in the case of grain impregnation at 5 kPa.

Key words: rye grain, milling, specific energy consumption

Adres do korespondencji:

Leszek Rydzak; e-mail: leszek.rydzak@up.lublin.pl
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Doświadczalna 44
20-236 Lublin