

Dariusz Dziki, Janusz Laskowski*

WPLYW WARUNKÓW KONDYCJONOWANIA NA ENERGOCHŁONNOŚĆ ROZDRABNIANIA ZIARNA JĘCZMIENIA I KUKURYDZY

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań nad wpływem warunków kondycjonowania ziarna na wskaźniki energochłonności rozdrabniania jęczmienia i kukurydzy. Wraz ze zwiększeniem wilgotności oraz z upływem czasu leżakowania wzrasta energochłonność jednostkowa rozdrabniania (od 206 do 291 kJ·kg⁻¹) oraz stała rozdrabniania K (od 162 do 223 kJ·kg⁻¹·mm^{0,5}). Największe zmiany tych wskaźników następowały przez 24 godziny od momentu dodania wody do ziarna. Zależności między określonymi wskaźnikami energochłonności a wilgotnością ziarna i czasem leżakowania opisano równaniami regresji.

Słowa kluczowe: rozdrabnianie, nawilżanie, jęczmień, kukurydza

WSTĘP

Prace nad optymalizacją procesu rozdrabniania prowadzone są od wielu lat, szczególnie w kierunku określenia jego energochłonności. Efekt końcowy rozdrabniania zależy od parametrów pracy zastosowanego rozdrabniacza oraz od właściwości przetwarzanego materiału.

W przetwórstwie zbóż uzyskiwana wielkość cząstek materiału po rozdrobnieniu ma znaczenie w kolejnych etapach przetwarzania, takich jak: mieszanie, granulowanie czy wypiek. W zależności od stopnia rozdrobnienia przebieg tych procesów jest różny, podobnie jak właściwości uzyskiwanych produktów. Należy zauważyć, że ze wzrostem stopnia rozdrobnienia zwiększa się energochłonność procesu. Ponadto czynnikiem, który równie istotnie wpływa na energochłonność procesu jest wilgotność ziarna. Wzrost wilgotności powoduje zwiększenie plastyczności, a w konsekwencji również energochłonności rozdrabniania. Jednak w niektórych procesach (np. przy przemiale) w celu uplastycznienia

* Dr inż. Dariusz Dziki, prof. dr hab. Janusz Laskowski, Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Akademii Rolniczej w Lublinie.

okrywy i oddzielenia jej od bielma, a tym samym otrzymania produktu najwyższej jakości, ziarno poddawane jest nawilżaniu i leżakowaniu. Dlatego bardzo ważne jest ustalenie optymalnych warunków kondycjonowania oraz określenie ich wpływu na energochłonność rozdrabniania. Pozwala to na uzyskanie oszczędności w nakładach energii przy jednoczesnym zachowaniu właściwej jakości produktu.

Niewiele jest opracowań dotyczących wpływu warunków kondycjonowania na energochłonność rozdrabniania jęczmienia i kukurydzy, dlatego też w niniejszej pracy zajęto się tą tematyką.

METODYKA BADAŃ

Materiał badawczy stanowiło ziarno kukurydzy odmiany Koka oraz jęczmień ozimy odmiany Kos. Dla ziarna określono wilgotność, skład granulometryczny oraz obliczono średni wymiar cząstki [1]. Następnie próbki doprowadzono do 10% wilgotności i kondycjonowano poprzez dodanie wody destylowanej do 12, 14, 16 i 18% wilgotności. Po wymieszaniu i zamknięciu w szczelnych pojemnikach ziarno leżakowało w temperaturze pokojowej (20°C). Próbki do badań pobierano po 0,5, 1, 2, 4, 6, 10, 24, 48 i 96 h leżakowania.

Proces rozdrabniania przeprowadzono na rozdrabniaczu bijakowym POLYMIX-Micro-Hammermill MFC. Prędkość obwodowa bijaków wynosiła 94 m·s⁻¹. Zastosowano sito o wielkości oczek 1,0 mm. Podczas rozdrabniania rejestrowano zmiany poboru mocy prądu wykorzystując zestaw, w skład którego wchodził przetwornik mocy czynnej na sygnał stałonapięciowy oraz karta pomiarowa współpracująca z komputerem klasy PC wraz z odpowiednim oprogramowaniem [5].

Określono energię całkowitą na rozdrobnienie danej próbki ziarna, przy założeniu, że moc zużyta przez urządzenie stanowi różnicę mocy całkowitej pobieranej przez układ podczas rozdrabniania i mocy traconej przez układ napędowy podczas biegu jałowego [6]. Energię jednostkową rozdrabniania obliczono według równania:

$$E_r = \frac{E_c - E_s}{m} \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \quad (1)$$

gdzie:

- E_c – energia całkowita potrzebna do pracy rozdrabniacza,
- E_s – energia biegu jałowego,
- m – masa rozdrabnianej próbki.

Po rozdrobnieniu uzyskaną śrutę poddano analizie składu granulometrycznego przy wykorzystaniu przesiewacza laboratoryjnego Thyr 2. Na podstawie przeprowadzonych analiz określono średni wymiar cząstki [1].

Obliczono wskaźnik podatności ziarna na rozdrabnianie (E_r) jako iloraz energii rozdrabniania do powierzchni powstałej na skutek rozdrobnienia (kJ/m^2), a następnie wyznaczono wskaźnik wykorzystania energii jako odwrotność wskaźnika E_r [2, 3].

Obliczono także stałą rozdrabniania K na podstawie ogólnej teorii rozdrabniania przedstawionej przez Sokołowskiego [8]:

$$K = \frac{E_r}{\frac{1}{\sqrt{d}} - \frac{1}{\sqrt{D}}} \quad \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mm}^{0.5} \quad (2)$$

gdzie:

D – średni wymiar cząstki materiału przed rozdrobnieniem,
 d – średni wymiar cząstki materiału po rozdrobnieniu.

Pomiary przeprowadzono w 10 powtórzeniach dla ziarna po każdym czasie leżakowania. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Przeprowadzono analizę wariancji. Istotność różnic między średnimi określono testem Duncana. Wyznaczono także równania regresji opisujące wpływ wilgotności i czasu leżakowania na określane wskaźniki energochłonności. Przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$ [9].

WYNIKI BADAŃ

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że wilgotność ziarna i czas leżakowania istotnie wpływają na energochłonność jednostkową rozdrabniania ziarna jęczmienia i kukurydzy. Wraz ze wzrostem ilości dodanej do ziarna wody oraz z upływem czasu leżakowania zwiększała się energochłonność jednostkowa rozdrabniania ziarna jęczmienia od 197 do 257 $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, zaś kukurydzy od 214 do 324 $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Przy czym zarówno w przypadku jęczmienia, jak i kukurydzy największe zmiany energochłonności stwierdzono przez 24 godziny leżakowania ziarna od momentu nawilżenia. Natomiast po 24, 46 i 96 godzinach leżakowania nie stwierdzono istotnych różnic (rys. 1).

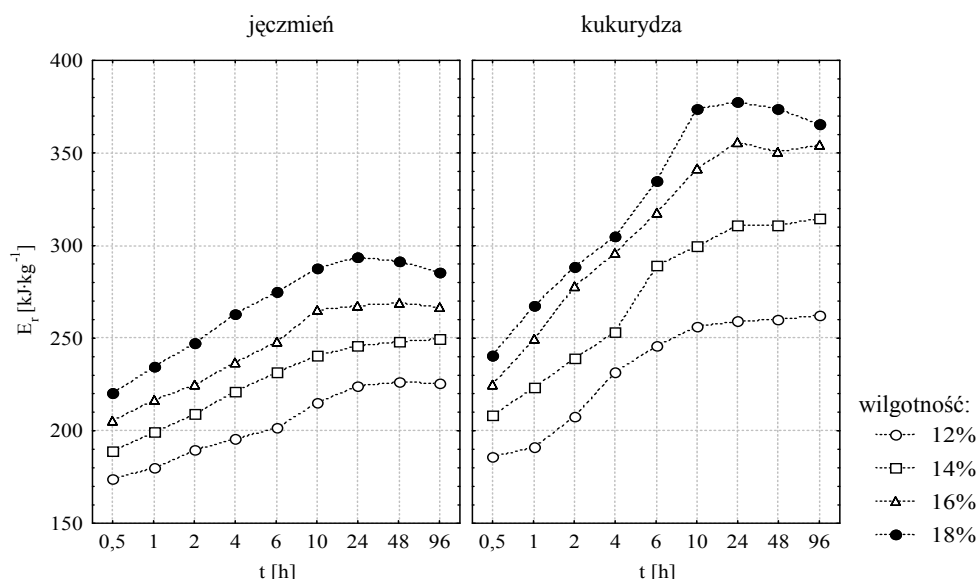
Zmiany energochłonności jednostkowej rozdrabniania (E_r) ziarna jęczmienia w zależności wilgotności (w) i czasu leżakowania (t) opisano równaniem regresji:

$$E_r = 10,39w + 12,68\ln t + 76,02; \quad R^2 = 0,945 \quad (3)$$

W odniesieniu do ziarna kukurydzy powyższą zależność przedstawia równanie:

$$E_r = 15,56w + 23,04\ln t + 38,66; \quad R^2 = 0,904 \quad (4)$$

Romański i Niemiec [7] stwierdzili, że podczas rozdrabniania ziarna pszenicy na gniotowniku walcowym maksymalne zużycie energii jednostkowej występuje przy wilgotności ziarna 16-17%, a powyżej i poniżej tych wartości energia jest mniejsza. Wynika to zapewne z rodzaju zastosowanego rozdrabniacza. W gniotowniku na ziarno działają w głównej mierze siły zgniatające, które w niewielkim stopniu powodują rozdrabnianie ziarna, głównie zaś płatkowanie, i wówczas zależność między wilgotnością a energochłonnością rozdrabniania ma inny przebieg niż w przypadku rozdrabniacza bijakowego. Według badań własnych oraz innych autorów [5] wzrost wilgotności ziarna od 10 do 18% powoduje zawsze zwiększenie energochłonności jego rozdrabniania na rozdrabniaczu bijakowym.



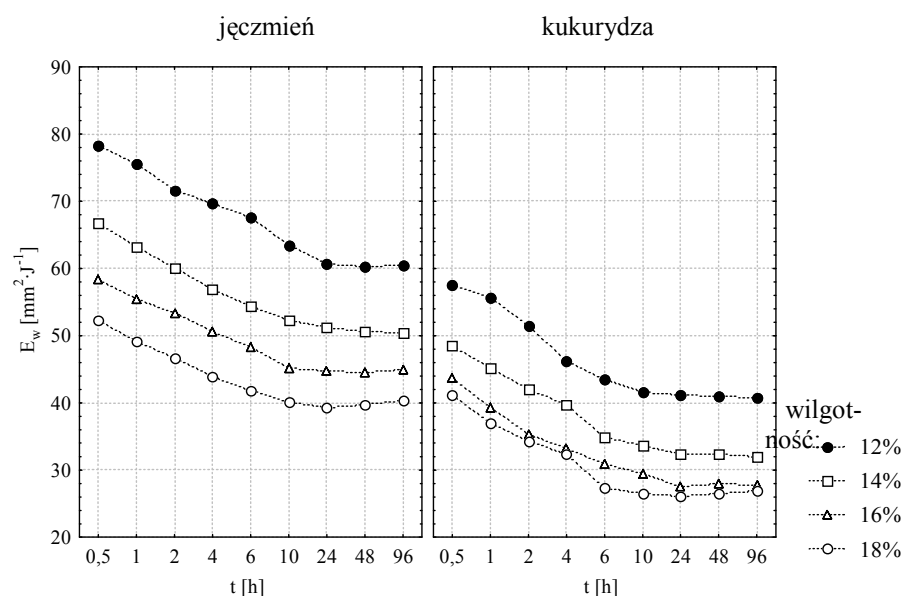
Rys. 1. Energochłonność jednostkowa rozdrabniania (E_r) jęczmienia i kukurydzy w zależności od czasu leżakowania (t) i poziomu wilgotności ziarna

Fig. 1. Specific grinding energy of barley and corn kernel in relation to tempering period and moisture of kernel

Na podstawie uzyskanego składu granulometrycznego produktów rozdrabniania stwierdzono, że czas leżakowania i wilgotność ziarna w niewielkim stopniu wpłynęły na średni wymiar cząstki śruty jęczmiennej, który zwiększył się istotnie od 0,34 do 0,40 mm wraz ze wzrostem wilgotności ziarna. Wynika to najprawdopodobniej z faktu, że uelastycznienie okrywy i bielma ziarna jęczmienia podczas nawilżania i leżakowania powoduje mniejszy stopień rozdrobnienia tego surowca. Natomiast w przypadku ziarna kukurydzy nie stwierdzono istotnego wpływu stosowanych warunków kondycjonowania na ten parametr, jednak był on istotnie wyższy od wartości uzyskanych dla ziarna jęczmienia i wyniósł

średnio 0,46 mm. Przyczyna małej zmienności średniego wymiaru cząstki śruty uzyskanej z ziarna o różnej wilgotności, wynika z zastosowania w rozdrabniaczu sita jako elementu wymuszającego określony stopień rozdrobnienia.

Rozpatrując wskaźnik wykorzystania energii, obliczony jako odwrotność wskaźnika podatności ziarna na rozdrabnianie, stwierdzono istotny wpływ wilgotności ziarna i czasu leżakowania na ten parametr. Wraz z upływem czasu kondycjonowania oraz ze wzrostem zawartości wody w ziarnie zmniejszał się wskaźnik wykorzystania energii na proces rozdrabniania, średnio od 64 do 49 $\text{mm}^2 \cdot \text{J}^{-1}$ dla ziarna jęczmienia i od 48 do 32 $\text{mm}^2 \cdot \text{J}^{-1}$ dla kukurydzy (rys. 2). Niezależnie od poziomu nawilżenia ziarna wartości tego wskaźnika stabilizowały się, podobnie jak energochłonności jednostkowej rozdrabniania, po 24 godzinach leżakowania ziarna.



Rys. 2. Wskaźnik efektywności wykorzystania energii rozdrabniania (E_w) ziarna jęczmienia i kukurydzy w zależności od czasu leżakowania (t) i wilgotności ziarna.

Fig. 2. Grinding energy utilization index (E_w) of barley and corn kernel in relation to tempering period and moisture of kernel

Zmiany wskaźnika wykorzystania energii (E_w) określone dla ziarna jęczmienia opisano równaniem regresji, w którym uwzględniono wilgotność ziarna (w) i czas leżakowania (t):

$$E_w = -3,9w - 3,04\ln t + 110,72; R^2 = 0,947 \quad (5)$$

Podobnie przedstawiono zależność dla ziarna kukurydzy:

$$E_w = -2,59w - 3,15\ln t + 76,71; R^2 = 0,885 \quad (6)$$

Parametrem, który uwzględnia dodatkowo średni wymiar cząstki materiału przed i po rozdrobnieniu jest wskaźnik rozdrabniania K . Wyższe wartości tego wskaźnika, podobnie jak energochłonności jednostkowej rozdrabniania uzyskano dla ziarna kukurydzy. Wraz z upływem czasu leżakowania oraz ze wzrostem wilgotności ziarna zwiększał się parametr K , dla ziarna jęczmienia od 161 do 210 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mm}^{0,5}$, a dla kukurydzy od 162 do 245 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mm}^{0,5}$. Przy czym im czas leżakowania był dłuższy, tym różnica między wskaźnikiem uzyskanym dla kukurydzy i jęczmienia była wyższa.

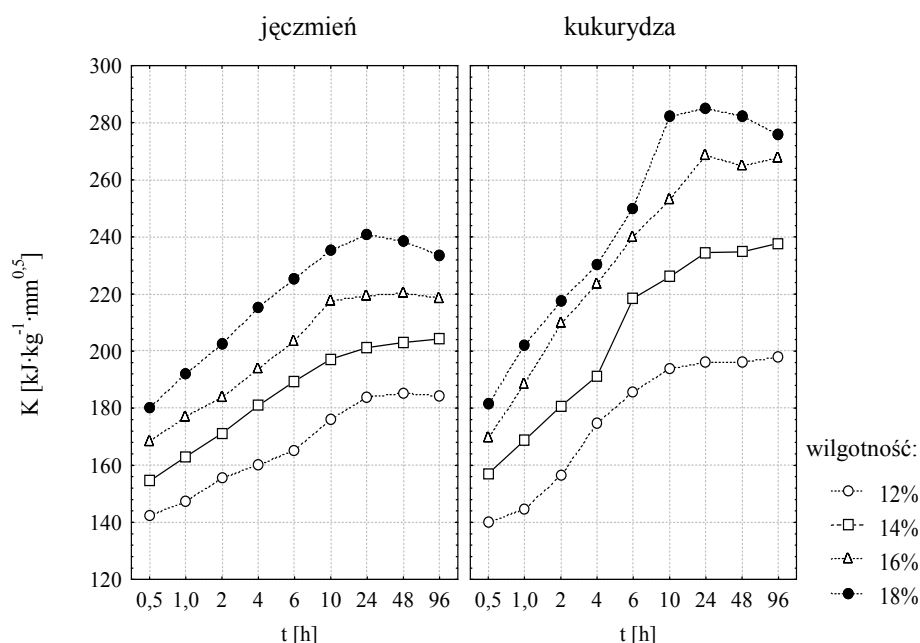
Zmiany wskaźnika rozdrabniania (K) w zależności od wilgotności (w) i czasu leżakowania (t) opisano równaniami regresji:

– dla ziarna jęczmienia:

$$K = 8,51w + 10,38\ln t + 62,22; R^2 = 0,942 \quad (7)$$

– dla ziarna kukurydzy:

$$K = 11,67w + 17,37\ln t + 29,97; R^2 = 0,907 \quad (8)$$



Rys. 3. Wskaźnik rozdrabniania (K) w zależności od czasu leżakowania (t) jęczmienia i kukurydzy i poziomu wilgotności ziarna

Fig. 3. Grinding index (K) in relation to tempering period and moisture of barley and corn kernel

PODSUMOWANIE

Stwierdzono, że wilgotność i czas leżakowania ziarna od momentu nawilżenia ziarna do chwili rozpoczęcia rozdrabniania mają istotny wpływ na rozpatrywane wskaźniki energochłonności rozdrabniania. Wraz ze zwiększeniem wilgotności oraz z upływem czasu leżakowania wzrasta energochłonność jednostkowa rozdrabniania (średnio od 206 do 291 kJ·kg⁻¹) oraz stała rozdrabniania K (średnio od 162 do 223 kJ·kg⁻¹·mm^{0,5}), a zmniejsza się wskaźnik wykorzystania energii (średnio od 56 do 40 mm²·J⁻¹). Największe zmiany tych wskaźników następowały przez 24 godziny od momentu dodania wody do ziarna i spowodowane były wnikaniem wody w okrywę i bielmo i ich uplastycznianiem. Zależności między określonymi wskaźnikami, a czasem leżakowania i poziomem dowilżenia ziarna opisano równaniami regresji, dla których otrzymano wysokie wartości współczynników determinacji. Wszystkie rozpatrywane wskaźniki wykazały, że nakłady energii na rozdrabnianie były wyższe dla ziarna kukurydzy. Należy zauważyć, że jeśli w rozdrabniaczu zastosuje się sito o większym wymiarze oczek to wówczas, jak wykazały badania Laskowskiego i innych [4] ziarno jęczmienia charakteryzuje się większą energochłonnością jednostkową rozdrabniania niż ziarno kukurydzy. Wynika to najprawdopodobniej z różnej podatności na rozdrabnianie poszczególnych części anatomicznych badanych surowców.

Przeprowadzone badania wykazały, że wyznaczone wskaźniki nie tylko charakteryzują proces rozdrabniania pod kątem energochłonności, ale również mogą być wykorzystane do określenia optymalnego czasu leżakowania ziarna przez przemiałem.

PIŚMIENNICTWO

1. **Grochowicz J.**, 1996: Technologia produkcji mieszanek paszowych. PWRiL, Warszawa.
2. **Kiryłuk J., Kawka A., Klockiewicz-Kamińska E., Aniola J.** 1998. Charakterystyka wybranych odmian jęczmienia jako surowca do produkcji kasz i innych produktów spożywczych. *Przeg. Zboż.-Młyn.* 42(3): 29-30.
3. **Kiryłuk J., Różycka K.** 1996. Wpływ wilgotności i zabiegów hydrotermicznych na własności przemiałowe owsa. *Przeg. Zboż.-Młyn.* 40(3): 26-28.
4. **Laskowski J., Skonecki S., Łysiak G.** 1996. Badania nad określeniem podatności do rozdrabniania i zagęszczania surowców paszowych. Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego nr 5 S30601407. Aneks s. 41-42.
5. **Laskowski J., Łysiak G.**, 1997: Stanowisko do badań procesu rozdrabniania surowców biologicznych. *Post. Tech. Przetw. Spoż.*, 1/2, s. 55-58.
6. **Popko H.**, 1986: Maszyny przemysłu spożywczego. Ćwiczenia laboratoryjne. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 128-137.
7. **Romański L., Niemiec A.**, 2001: Wpływ wilgotności ziarna pszenicy na energię rozdrabniania w gniotowniku modelowym. *Acta Agrophysica*, 46: 153-158.
8. **Sokołowski, M.**, 1996: Energy consumed in comminution - and new idea of and general of law of comminution - new tests stands and testing results. *Récents progres en génie procédés.* 10, 221-226.

9. **Stanisz A.**, 1998 Przystępny kurs statystyki. Statsoft Polska Sp. z o.o. Kraków s. 148.

INFLUENCE OF TEMPERING CONDITIONS ON GRINDING ENERGY OF BARLEY
AND CORN KERNEL

Summary. Paper presented the results of investigations concerning the influence of tempering conditions on grinding energy indices of barley and corn kernel. It was shown, that as kernel moisture and tempering period increased the grinding energy and grinding index K increased too (from 206 to 291 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ and from 162 to 223 $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{mm}^{0.5}$). The greatest changes of grinding energy were observed for 24 hours of tempering. The grinding energy indices were described by the regression equations in function of kernel moisture and time of tempering.

Keywords: grinding, moisture, barley, corn.