

Metody oceny właściwości przemiałowych ziarna pszenicy

Dariusz Dziki

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego,

Akademia Rolnicza w Lublinie

ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin

e-mail: uldar@faunus.ar.lublin.pl

Słowa kluczowe: ziarno pszenicy, wartość przemiałowa, właściwości przemiałowe

Wprowadzenie

Jednym z najważniejszych etapów w przetwórstwie surowców roślinnych jest określenie ich przydatności technologicznej. Pomimo że badania nad oceną cech jakościowych ziarna trwają od początków przemysłowego przetwórstwa zbóż, w dalszym ciągu nie ma możliwości przeprowadzenia pełnej charakterystyki ziarna opartej na jednym bądź kilku wskaźnikach, zarówno pod kątem oceny do przemiału, jak i do wypieku. Ponadto pojawiające się nowe odmiany, jak i różnorodność zabiegów agrotechnicznych oraz zmienne warunki pogodowe powodują, że ocena właściwości technologicznych ziarna jest niezbędna każdorazowo przed skierowaniem go do przerebu. Często również zbyt mało uwagi poświęca się właściwościom przemiałowym ziarna zapominając o tym, że współczesne młyny pracują przy rentowności wynoszącej zaledwie około 1%.

Wartość przemiałowa ziarna określa jego przydatność do otrzymania jak najwyższego wyciągu mąki o odpowiednio niskiej zawartości popiołu (zwykle do rozważań przyjmuje się mąkę typ 500–550) [43].

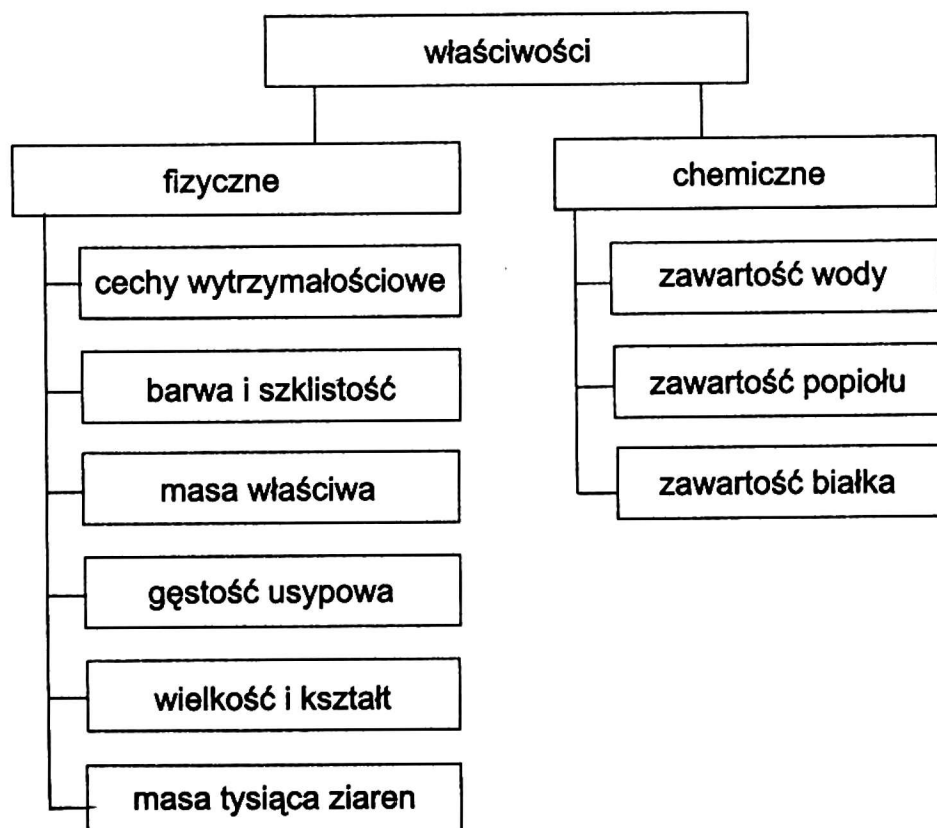
Do oceny właściwości przemiałowych ziarna stosowane są dwie grupy metod. Pierwsze, określane powszechnie jako pośrednie, polegają na wyznaczeniu właściwości fizycznych i chemicznych ziarna, które mają związek z procesem przemiału. Do drugiej grupy zaliczymy metodę bezpośrednią polegającą na przeprowadzeniu przemiału laboratoryjnego bądź przemysłowego, a następnie wyznaczeniu wskaźników ilościowych, jakościowych i energochłonności. Szczególnie mało uwagi poświęca się wskaźnikom energochłonności.

Metody pośrednie oceny właściwości przemiałowych ziarna

Do najczęściej stosowanych wskaźników w pośredniej ocenie wartości przemiałowej ziarna pszenicy zalicza się takie właściwości fizyczne ziarna, jak: cechy wytrzymałościowe (szczególnie twardość), gęstość usypowa, masa właściwa, szklistość i barwa, masa tysiąca ziaren, kształt i wymiary. Do właściwości chemicznych ziarna mających związek z jego wartością przemiałową możemy zaliczyć zawartość popiołu i białka (rys. 1). Prowadzone są również badania mające na celu określenie powiązań struktury warstwy aleuronowej i bielma ziarniaków z procesem przemiału [18, 34].

Największy wpływ na zachowanie się ziarna w podczas mielenia mają jego właściwości wytrzymałościowe, które w głównej mierze zależą od cech genetycznych i wilgotności ziarna. Najczęściej ocenianym parametrem jest twardość. Cecha ta powinna być uwzględniona przez młynarza zarówno podczas kondycjonowania ziarna, jak i przy przemiale pszenicy. Ziarno o twardym bielmie wchłania wodę wolniej i dlatego wymaga dłuższego czasu leżakowania. Również przy przemiale zboża o twardym bielmie stosowana jest wyższa wilgotność (17–18%), ponieważ ziarniaki odmiany takiej pszenicy mają przeważnie cieńszą okrywę, która jeśli ziarno jest zbyt suche, nadmiernie się rozdrabnia i przechodząc do mąki powoduje jej ciemnienie.

Ziarno o twardym bielmie cechuje podczas mielenia duża zdolność do kaskowania i większa podatność okrywy na rozdrabnianie. Pszenica taka dobrze się wymiela, a otrzymywane otręby zawierają mało bielma i skrobi. W pierwszej fazie rozdrabniania bielmo rozpada się wzdłuż ścian komórkowych na duże cząstki, a ziarna



Rysunek 1. Właściwości fizyczne i chemiczne ziarna stosowane w ocenie wartości przemiałowej pszenicy

skrobi są wyłupywane i uszkodzane mechanicznie [14]. Natomiast odmiany pszenicy o bielmie miękkim mają bardziej wytrzymałą na rozdrabnianie okrywę, bielmo zaś mniej, na skutek tego uzyskuje się z nich na pierwszych pasażach przemiałowych więcej mąki [2, 10].

Skrobia ziarna odmian pszenicy o bielmie twardym charakteryzuje się większą podatnością na uszkodzenia podczas przemiału, co z kolei oddziałuje na właściwości wypiekowe mąki, a szczególnie na wzrost wodochłonności [40].

Ponadto twardość ziarna wykazuje związek z granulacją mąki. Odmiany pszenicy (*vulgare*) o twardym bielmie, w porównaniu z odmianami pszenicy (*vulgare*) o bielmie miękkim, dają podczas przemiału mniej cząstek drobnych, szczególnie o wielkości poniżej 41 μm [16]. W przybliżeniu 50% mąki wyprodukowanej z pszenicy miękkiej ma cząstki mniejsze niż 50 μm , natomiast w wypadku pszenicy o twardym bielmie tylko 25% [15].

W wypadku mąki otrzymanej z ziarna pszenicy miękkiej rozkład cząstek jest dwumodalny, gdzie pierwsze ekstremum przypada na cząstki o wielkości około 25 μm . Natomiast mąka pochodząca z pszenicy twardej charakteryzuje się rozkładem jednomodalnym, gdzie maksimum przypada na cząstki o wielkości około 125 μm [2, 15].

Mąka uzyskana z ziarna twardego łatwo się przesiewa, a jej cząstki mają zbliżony kształt. Z miękkiego ziarna pszenicy otrzymuje się natomiast mąkę drobną, stanowiącą pod względem kształtu nieregularne fragmenty komórek bielma oraz wolne ziarenka skrobi [17].

Należy zaznaczyć, że w szczególności do ziarna pszenicy, stosowanych jest szereg metod oceny jego cech wytrzymałościowych bazujących zarówno na pojęciach zaczerpniętych z mechaniki klasycznej (np. moduł Younga czy współczynnik Poissona), jak i na tak zwanych technologicznych testach twardości takich, jak: WHI (wskaźnik twardości pszenicy), PSI (wskaźnik wielkości cząstki), PRI (wskaźnik odporności na obłuskiwanie) [14], czy stosunkowo od niedawna metoda określana jako System Charakterystyki Pojedynczych Ziarniaków (SKCS). W metodzie SKCS urządzenie firmy Perten określa w ciągu kilku minut wilgotność, masę, grubość oraz wskaźnik twardości SKCS (w jednostkach niemianowanych) dla 300 pojedynczych ziarniaków [32]. Według tej metody pszenicę można podzielić na osiem różnych klas twardości (tab. 1).

Dziki i Laskowski [11] wykazali, istotną i silną korelację między wskaźnikiem twardości określonym metodą PSI i SKCS ($r = -0,92$).

Szczególnie technologiczne wskaźniki twardości wykazują ścisłe powiązania z właściwościami przemiałowymi oraz przydatnością technologiczną ziarna. Wykazano ujemną korelację między wskaźnikiem SKCS, a wyciągiem mąki [9]. Ponadto stwierdzono, że metoda SKCS może być z powodzeniem wykorzystana do oceny optymalnego czasu leżakowania ziarna po nawilżeniu przed przemiałem [50].

Niektórzy autorzy wykazują zależność między twardością ziarna, a zawartością białka [3]. Stąd też niekiedy zawartość białka brana jest pod uwagę w ocenie wartości

Tabela 1. Klasyfikacja ziarna pszenicy w zależności od wskaźnika twardości SKCS [50]

Zakres wskaźnika SKCS	Klasa twardości ziarna
<14	ekstra miękkie
15–29	bardzo miękkie
30–39	miękkie
40–49	średnio miękkie
50–64	średnio twarde
65–79	twarde
80–89	bardzo twarde
>90	ekstra twarde

przemiałowej ziarna. Parametr ten jest także uwzględniany przy komponowaniu mieszanek przemiałowych [38].

Inną właściwością ziarna, która powinna być uwzględniana przy ocenie wartości przemiałowej jest szklistość. Polska norma PN-70/R-74008 [35] dotycząca szklistości odnosi się jedynie do ziarna pszenicy durum (oraz jęczmienia), przeznaczonej do produkcji kaszki makaronowej (semoliny). Szklistość ocenia się najczęściej poprzez przecięcie ziarniaków za pomocą farinotomu i określenie wyglądu ich przekroju. Ziarna szkliste są zwykle bardziej twarde i charakteryzują się wyższą zawartością białka. Symons i in. [48] wykazali, że wraz ze zwiększaniem się szklistości ziarna wzrasta jego twardość wyrażona wskaźnikiem SKCS ($r = 0,91$). Jednak nie jest to ścisłą regułą, gdyż bywają pszenice mączyste o twardym bielmie i szkliste o bielmie miękkim. Należy również wiedzieć, że po nawilżeniu ziarna i jego powolnym wysuszeniu szklistość może zanikać [18]. W młynarstwie przyjęto uważać za mączyste ziarno o szklistości poniżej 40%, a za ziarno wysokoszkliste – powyżej 60% szklistości [19]. Szklistość ziarna wpływa na wydajność mąki śrutowej ($r = 0,79$) i wymiałowej ($r = 0,80$) [29].

Szklistość jest szczególnie ważnym parametrem przy ocenie ziarna pszenicy durum wykorzystywanej do produkcji kaszki makaronowej. Ziarno o szklistym bielmie daje podczas przemiału wyższy wciąg semoliny. W USA na podstawie zawartości ziaren szklistych pszenica durum jest klasyfikowana na Hard Amber Durum (szklistość przekracza 75%), Amber Durum (zawartość ziaren szklistych mieści między 60 a 75%) i Durum (ziaren szklistych jest mniej niż 60%) [31].

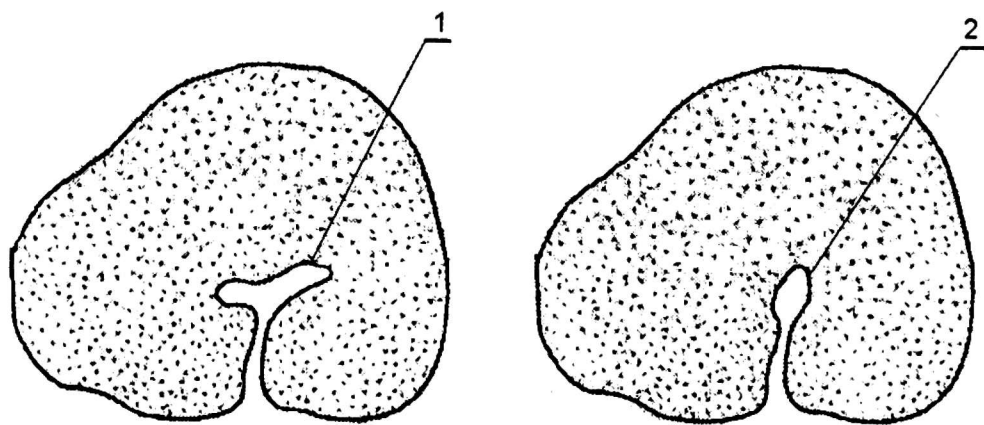
Ogromny wpływ na cechy wytrzymałościowe ziarna, a tym samym na zachowanie się ziarniaków podczas przemiału ma wilgotność. Wzrost wilgotności ziarna pszenicy z 10 do 18% powoduje około dwukrotne zwiększenie wytrzymałości na rozdrabnianie ziarna mączystego, ziarna szklistego zaś około 1,5-krotne. Zarówno zbyt wysoka zawartość wody w ziarnie, jak i zbyt niska jest niekorzystna z technologicznego punktu widzenia. Zwiększenie wilgotności ziarna poprzez kondycjonowanie powoduje uelastycznienie okrywy i bielma. Na skutek tego zboże rozdrabnia się trudniej. Jednak przy produkcji mąki jasnej o niskiej zawartości substancji mineralnych jest to

zabieg konieczny, gdyż w wypadku przemiału ziarna zbyt suchego okrywa rozdrabnia się nadmiernie i przedostaje do cząstek bielma, zwiększając w ten sposób zawartość popiołu w mące i nadając jej ciemniejszą barwę. Ustalono, że wilgotność ziarna pszenicy kierowanego do przemiału powinna zawierać się w zakresie od 16 do 18%, przy czym wyższy poziom wilgotności stosowany jest dla ziarna o twardym bielmie. Natomiast w wypadku ziarna żyta, że względu na grubszą i bardziej elastyczną okrywę (mniejsze niebezpieczeństwo nadmiernego rozdrobnienia okrywy) stosuje się nieco niższy poziom wilgotności – od 14 do 15% [19].

Ponadto na cechy przemiałowe pszenicy wpływa wielkość ziarna. Nawet w obrębie tej samej odmiany poszczególne ziarna różnią się między sobą cechami wytrzymałościowymi czy składem chemicznym. Stwierdzono, że ziarno drobne charakteryzuje się większą zawartością substancji mineralnych, co wpływa na podwyższenie zawartości popiołu w mące [38]. Sutton i in. [74] wykazali, że wraz ze wzrostem wielkości ziarna zwiększa się wyciąg mąki. Natomiast Gaines i in. [12] zaobserwowali, że jeśli oddzieli się z masy zboża ziarniaki wadliwie wykształcone („pomarszczone” i „poobkurczane”) to wielkość ziarna nie ma istotnego wpływu na wyciąg i zawartość popiołu w mące. Wykazano również, że drobne ziarno pszenicy (przesiew przez sito $2,2 \times 25$ mm) charakteryzuje się wielokrotnie wyższą zawartością toksyn fuzaryjnych w porównaniu z ziarnem dorodnym [33]. Ma to niewątpliwie wpływ na czystość mikrobiologiczną produktów przemiału.

Również szczelina między walcami mielącymi powinna być dostosowana do wielkości mielonego ziarna. Na pierwszym pasażu śrutującym wielkość ziarna ma największy wpływ na średni wymiar cząstki mlewa. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem wielkości ziarna zmniejsza się średni wymiar cząstki [7].

Na przebieg procesu przemiału ma także wpływ szerokość, głębokość oraz kształt „pętli” bruzdki ziarniaków (rys. 2). Ziarno podczas rozdrabniania między walcami najczęściej pęka w najmniejszym przekroju tj. w bruzdce. Dowiedziono, że w młynarstwie w przemiale pszenicy zwyczajnej najlepsze jest ziarno, którego przekrój bruzdki ma kształt dwujęzyczkowy, przy przemiale zaś pszenicy durum szczelinowaty [18].



Rysunek 2. Kształt pętli bruzdki ziarna pszenicy: 1 – dwujęzyczkowy, 2 – szczelinowaty

Często określanym wyróżnikiem jest gęstość usypowa. To jeden z najstarszych wskaźników określanych w ocenie jakościowej ziarna. Cecha ta pośrednio informuje o masie właściwej i dorodności zboża. Generalnie przyjmuje się, że ziarno jest tym lepiej wypełnione skrobią i białkiem im wyższy jest ten wskaźnik. Według polskiej normy PN-R-74103:1996 gęstość usypowa ziarna pszenicy zwyczajnej nie może być niższa niż $720 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Williams [49] klasyfikuje ziarno pszenicy w zależności od gęstości usypowej na sześć klas (tab. 2).

Tabela 2. Klasyfikacja ziarna pszenicy w zależności od gęstości usypowej [49]

Gęstość usypowa [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	Klasa
600–640	ekstra lekkie
640–680	bardzo lekkie
680–720	lekkie
720–760	średnie
760–800	ciężkie
800–840	bardzo ciężkie

Wielu autorów stwierdza dodatnią korelację między wyciągiem mąki, a gęstością usypową ziarna [26, 29]. Również badania prowadzone nad wartością przemiałową pszenicy durum wykazują wprost proporcjonalną zależność między ilością uzyskiwanej semoliny, a gęstością ziarna w stanie zsypanym [28]. Niska gęstość ziarna w stanie zsypanym może świadczyć o uszkodzeniu go przez szkodniki lub też o zbyt późno przeprowadzonych żniwach [5]. Należy wiedzieć, że na gęstość usypową wpływa min. kształt ziarna. Ziarniaki bardziej sferyczne charakteryzują się wyższymi wartościami tej cechy [8].

Innym wyróżnikiem oceny ziarna pod kątem przemiału może być wyznaczenie masy właściwej. Większa wartość tego parametru informuje o lepszym wypełnianiu ziarna skrobią i białkiem, mniejsza zaś może wskazywać na porośnięcie ziarna bądź uszkodzenie przez grzyby. Badania gęstości pszenicy, przy użyciu mikropiknometru wykazały, że ziarno zdrowe charakteryzuje się masą właściwą wynoszącą $1,28 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, ziarno zaś uszkodzone przez porost bądź grzyby odpowiednio $1,19$ i $1,08 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ [27].

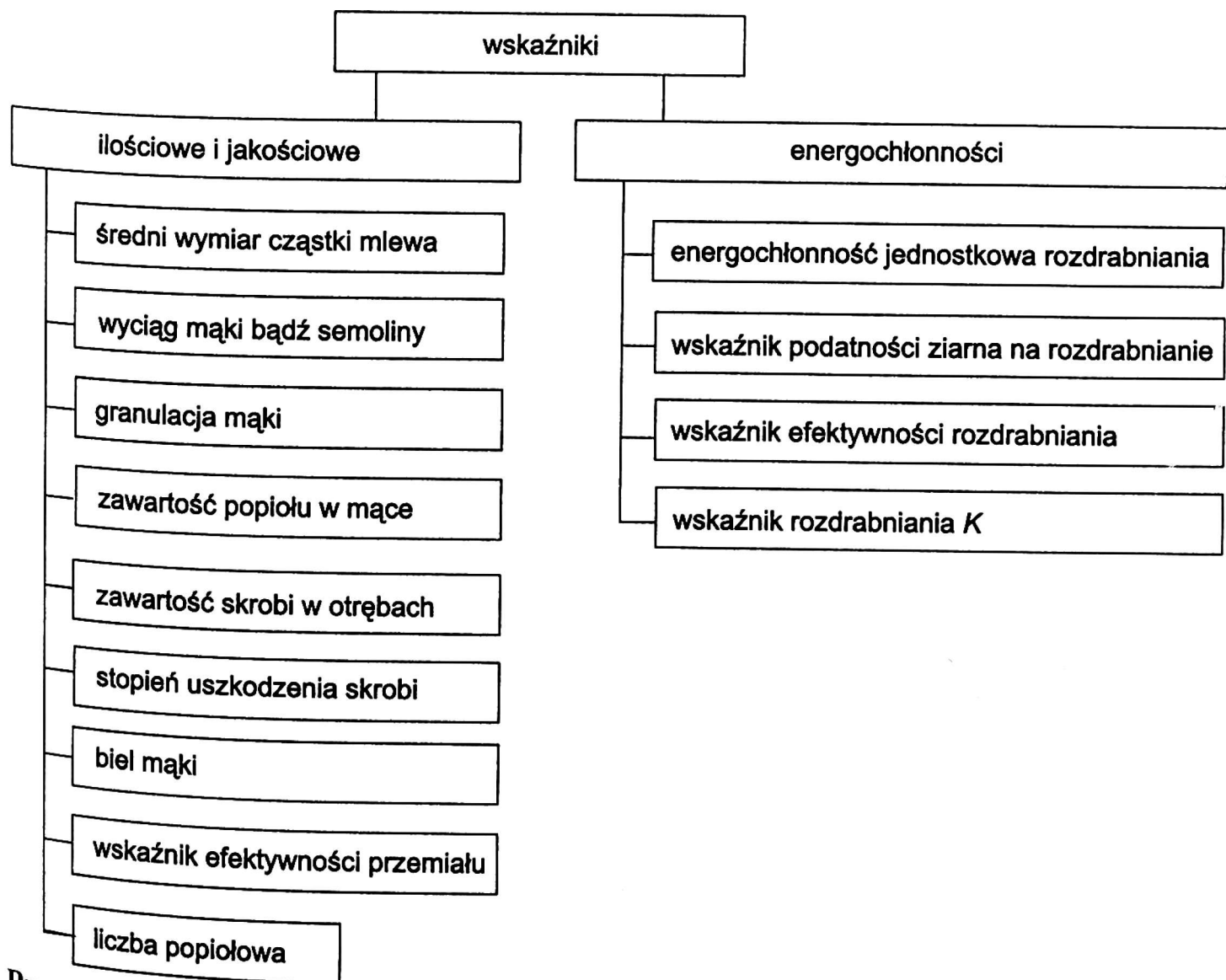
Jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących ziarno pod względem wartości przemiałowej jest zawartość substancji mineralnych potocznie zwana popiołem. W skład popiołu wchodzi nielotne substancje mineralne stanowiące mieszaninę fosforanów potasu, magnezu, wapnia i niewielkie ilości siarczanów, a nawet ślady metali ciężkich. Graniczna zawartość substancji mineralnych w ziarnie przyjmowana jest zwykle w przedziale $1,80$ – $1,85\%$. Ziarno o niższej zawartości popiołu stanowi pełnowartościowy surowiec do produkcji mąki jasnej oraz razowej. Natomiast ziarno o wyższej zawartości substancji mineralnych zaniża wyciąg mąki jasnej, co niekorzystnie wpływa na rentowność młyna [42, 45].

Metoda bezpośrednia oceny wartości przemiałowej ziarna

Wnioskowanie o cechach przemiałowych ziarna na podstawie wskaźników pośrednich jest niedokładne. Natomiast za bezpośrednią i najlepszą metodę oceny wartości przemiałowej pszenicy uważa się próbny przemiał wykonywany w warunkach laboratoryjnych bądź przemysłowych. Do przemiału laboratoryjnego używanych jest szereg urządzeń, takich jak: młynki Brabendera (Junior i Senior), Chopina (CD1 i CD2), młyn Bühlera (MLU-202), oraz młyn Allis Chalmers [22, 38]. Przemiał laboratoryjny należy prowadzić w standardowych warunkach (min. stała wilgotność i temperatura powietrza). Na podstawie przeprowadzonego przemiału określa się wskaźniki ilościowe, jakościowe i energochłonności tego procesu (rys. 3). Szczególnie tym ostatnim literatura poświęca mało uwagi.

Do wskaźników ilościowych zaliczymy między innymi współczynnik rozdrabniania K_r , określany jako [19]:

$$K_r = \frac{I_k - I_p}{100 - I_p} \quad (1)$$



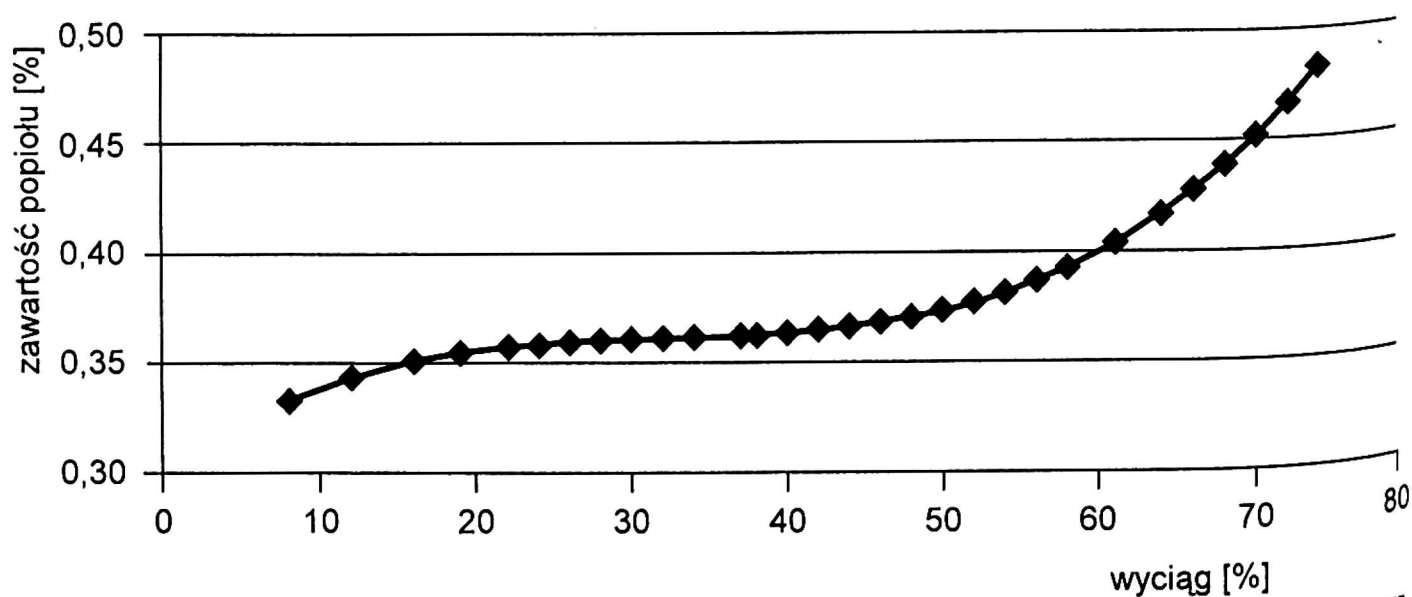
Rysunek 3. Wskaźniki oceniane na podstawie przemiału laboratoryjnego ziarna pszenicy

gdzie: I_k – udział przesiewu przez dane sito po rozdrobnieniu [%],
 I_p – udział przesiewu przez dane sito przed rozdrobnieniem [%].

Współczynnik K_r pozwala ocenić efekt rozdrabniania w każdym punkcie procesu technologicznego. W młynach pszennych najczęściej określa się go dla I, II i III pasaży śrutowania. Do oceny stopnia rozdrobnienia mlewa po tych pasażach najczęściej przyjmuje się sito o wymiarach oczek 0,95 mm. Stopień rozdrobnienia cząstek decyduje o obsypaniu mlewem poszczególnych pasaży, a przez to wpływa na jakość i ilość uzyskanej mąki [19]. Określenie stopnia rozdrobnienia mlewa jest jednak w praktyce najczęściej przeprowadzane w sposób subiektywny, polegający na ocenie organoleptycznej za pomocą dotyku i wzroku młynarza.

Do wskaźników ilościowych możemy zaliczyć także ilość uzyskiwanych produktów przemiału, a w szczególności mąki. Parametr ten jest jedynym wyróżnikiem wartości przemiałowej ziarna pszenicy brany pod uwagę w klasyfikacji jakościowej odmian COBORU [25]. Pełna ocena przydatności danej odmiany pod kątem produkcji mąki musi uwzględniać również inne wskaźniki. Jednym z najważniejszych jest zawartość popiołu w mące. Na podstawie zawartości substancji mineralnych w poszczególnych strumieniach mlewa i w mące można kierować we właściwy sposób procesem przemiału ziarna.

Graficzną metodą oceny wartości przemiałowej ziarna może być wyznaczenie tzw. krzywej popiołowości, określającej zależność między zawartością substancji mineralnych w mące, a jej wyciągiem (rys. 4). Zawartość popiołu w mące zwiększa się wraz ze wzrostem wyciągu, przy czym zależność nie jest liniowa. Do wyciągu wynoszącego około 50% przyrost substancji mineralnych jest nieznaczny. Natomiast dalszy wzrost wyciągu powoduje już gwałtowne zwiększenie zawartości popiołu w mące. Za ziarno o dobrej wartości przemiałowej uważa się to, które przy wysokim wyciągu mąki charakteryzuje się niską zawartością popiołu oraz wraz ze zwiększającym się wyciągiem daje powolny przyrost zawartości substancji mineralnych



Rysunek 4. Przykładowa zależność między wyciągiem mąki a zawartością w niej popiołu [46]

w mące. Stevens dla przemysłowego młyna pszennego opisał zależność między zawartością substancji a wyciągiem mąki równaniem regresji o postaci wielomianu stopnia trzeciego ($R^2 = 0,983$) [46].

Prace niektórych autorów wykazują, że dokładniejszym wskaźnikiem niż zawartość popiołu w mące może być określenie w niej ilości kwasu ferulowego [1]. Wynika to z faktu, że różnica między koncentracją kwasu ferulowego zawartego w bielmie i okrywie jest znacznie większa niż różnica pomiędzy zawartością popiołu.

Zawartość popiołu w mące ma decydujący wpływ na jej barwę. Mąki jasne to mąki o niższym wyciągu składające się głównie z cząsteczek bielma i zawierające niewielkie ilości substancji mineralnych. Natomiast mąki ciemne to mąki o wyciągu wyższym, oznaczające się większą zawartością popiołu, w skład których wchodzi dużo okrywy ziarna (głównie owocowo-nasiennej). Ponieważ biel mąki związana jest z zawartością w niej substancji mineralnych, to po uprzednim uzgodnieniu między producentem i odbiorcą zamiast oznaczenia popiołowości mąki dopuszcza się określenie jej bieli. Pomiar przeprowadzany jest najczęściej przy wykorzystaniu miernika bieli mąki zwanego leukometrem.

Często ocenę wartości przemiałowej ziarna przeprowadza się w ten sposób, że określa się, jaki jest wyciąg mąki przy stałej zawartości substancji mineralnych lub przy stałej barwie (bieli) mąki [6]. Można również wyznaczyć wskaźnik efektywności przemiału (KP) lub liczbę popiołową (LP) [42]:

— wskaźnik efektywności przemiału (KP):

$$KP = \frac{w_m}{z_{pm}} \quad (2)$$

gdzie: w_m – wyciąg mąki [%],

z_{pm} – zawartość popiołu w mące [%];

— liczba popiołowa (LP):

$$LP = \frac{10^5 \cdot z_{pm}}{w_{pm}} \quad (3)$$

Ziarno pszenicy będzie się cechowało lepszą wartością przemiałową w wypadku uzyskania większej wartości wskaźnika KP i mniejszej wartości wskaźnika LP.

Jeśli uwzględnimy zawartości popiołu w ziarnie wówczas efektywność pracy młyna (E_m) oraz wartość przemiałową ziarna można ocenić jako [20]:

$$E_m = w_m \cdot \frac{z_{pz} - z_{pm}}{z_{pz}} \quad (4)$$

gdzie: z_{pz} – zawartość popiołu w ziarnie [%].

Ocena wartości przemiałowej ziarna obejmuje również określenie zawartości skrobi we frakcji otrąb. Ziarno, które dobrze się wymiela, charakteryzuje się niską

zawartością skrobi w tej frakcji. Peyron i in. [34], badając pszenicę durum stwierdzili ujemną korelację między wyciągiem semoliny, a zawartością skrobi w otrębach.

Przy ocenie wartości przemiałowej ziarna niewiele uwagi poświęca się wskaźnikom energochłonności. Rozdrabnianie jest bardzo energochłonne i przy produkcji mąki gatunkowej proces ten pochłania od 50 do 70% ogólnego zapotrzebowania energii na prowadzenie całego procesu technologicznego [19]. Przy czym według niektórych autorów straty sięgają nawet 99% [30]. Przyczyną tak dużych strat są odkształcenia cząstek o charakterze plastycznym, zamiana energii mechanicznej w energię cieplną oraz nieodpowiedni dobór rozdrabniacza. Określenie wskaźników energochłonności pozwala zarówno wyznaczyć nakłady energetyczne na proces mielenia, jak i scharakteryzować rozdrabniany materiał [10, 41].

Jednym z najczęściej określanych wskaźników jest energochłonność jednostkowa rozdrabniania. Parametr ten w dużej mierze zależy od cech wytrzymałościowych rozdrabnianego materiału, a w szczególności do twardości ziarna. Kilborn i in. [21] stwierdzili, że energia jednostkowa mielenia zmienia się od $46 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ dla odmian pszenicy miękkiej (*vulgare*) do $124 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ dla pszenicy *durum*. Jednak parametr ten nie informuje o stopniu rozdrobnienia materiału. Dlatego też stosuje się szereg innych wskaźników, takich jak [23, 24]:

- wskaźnik odporności ziarna na rozdrabnianie E_f [$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$], który wyraża ilość energii zużytej podczas rozdrabniania do nowej powierzchni materiału powstałej na skutek rozdrabniania;
- wskaźnik efektywności wykorzystania energii [$\text{m}^2 \cdot \text{kJ}^{-1}$] wyrażany jako odwrotność wskaźnika E_f ;
- wskaźnik efektywności rozdrabniania, który określa ilość energii potrzebnej na wyprodukowanie jednego kilograma mąki.

Wykorzystywane są także inne wskaźniki energochłonności obliczone na podstawie teorii rozdrabniania podanych przez Bonda, Kicka, Rittingera [4], czy też stosunkowo niedawno przez Sokołowskiego [44]. Pujol i in. [39] zaobserwowali, że dla procesu mielenia wskaźnik rozdrabniania obliczony na podstawie teorii Sokołowskiego zmienia się od $22 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mm}^{0,5}$ dla odmian pszenicy miękkiej do $54 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mm}^{0,5}$ dla pszenicy *durum*.

Podsumowanie

Postęp techniczny i technologiczny na obecnym etapie sprawia, że produkcja przetworów zbożowych o cechach jakościowych zgodnych z wymaganiami odbiorcy jest sztuką, która wymaga kompleksowej wiedzy zarówno teoretycznej, jak i praktycznej. Celem współczesnego młynarstwa jest uzyskanie jak najwyższego wyciągu mąki spełniającej wymagania odbiorcy, przy jednocześnie jak najwyższej efektywności technicznej i ekonomicznej. Jeśli właściwości przemiałowe ziarna nie są

określane, a parametry procesu przemiału są dobierane na podstawie subiektywnej oceny młynarza, to bardzo często wyciąg mąki jest zaniżony. Dlatego też próbny przemiał laboratoryjny bądź przemysłowy powinien być zawsze przeprowadzany, a uzyskane wskaźniki mają stanowić podstawę do właściwego doboru parametrów pracy urządzeń rozdrabniających. Przy ciągle rosnących kosztach energii i wyczerpujących się jej źródłach, należy więcej uwagi poświęcić wskaźnikom energochłonności, które nie tylko mogą być wyznacznikiem kosztów produkcji, ale charakteryzują również właściwości przemiałowe ziarna.

Literatura

- [1] Autran J.C., Hamer R.J., Plijter J.J., Pogna N.E. 1997. Exploring and improving the industrial use of wheats. *Cereal Foods World* 42(4): 216–226.
- [2] Branland G., Felix I., Leblanc A., Koenig J., Bodet C., Mariot D., Mahaut B. 1997. La dureté des blés sélectionnés en France évolution et conséquences. *Industries des Céréales* 101: 5–10.
- [3] Brown G.L., Curtis P.S., Osborne B.G. 1993. Factors affecting the measurement of hardness by near infrared reflectance spectroscopy of ground wheat. *J. Near Infrared Spectrosc.* 1: 147–152.
- [4] Chwiej M. 1984. Aparatura przemysłu spożywczego. W: *Maszyny i aparaty* PWN, Warszawa: 237–238.
- [5] Czarnecki E., Evans L.E. 1986. Effect of weathering during delayed harvest on test weight, seed size and grain hardness of wheat. *Can. J. Plant Sci.* 66: 473–482.
- [6] Dexter, J.E., Tipples, K.H. and Martin, D.G. 1989. Predicting the commercial milling potential of Canadian Western Red Spring wheat from experimental milling results. *Milling* 182(8): 9–11.
- [7] Dziki D., Laskowski J. 2002. Influence of kernel size on wheat milling properties. Conference paper. 15 th International Congress of Chemical and Process Engineering. CHISA 2002. Praha. Czech Republic 25–29 August. Particulate Solid: 279 ss.
- [8] Dziki D., Laskowski J. 2002. Wpływ wielkości ziarna na wybrane właściwości pszenicy. *Inż. Roln.* t. I 5(38): 219–225.
- [9] Dziki D., Laskowski J. 2002. Wskaźniki przydatności technologicznej wybranych odmian ziarna pszenicy. *Inż. Roln.* 4(37): 77–82.
- [10] Dziki D., Laskowski J. 2000. Badanie właściwości przemiałowych wybranych pszenic. *Inż. Roln.* 8: 63–70.
- [11] Dziki D., Laskowski J., Janiak G. 1999. Badania twardości pszenic różnymi metodami pomiarowymi. *Inż. Roln.* 4(10): 83–89.
- [12] Gaines C.S., Finney P.L., Andrews L.C. 1997. Influence of kernel size and shriveling on soft wheat milling and baking quality. *Cereal Chem.* 74(6): 700–704.
- [13] Gąsiorowski H. 1994. *Żyto. Chemia i technologia.* PWRiL, Poznań: 124.
- [14] Gąsiorowski H., Kołodziejczyk P., Obuchowski W. 1999. Twardość ziarna pszenicy. *Przeg. Zboż.-Młyn.* 43(7): 6–8.

- [15] Haddad Y., Mabilille F., Mermet A., Abecassis J., Benet J.C. 1998. Conference paper. Rheological properties of wheat endosperm nad grinding behavior. 9th European Symposium on Comminution 8–10 Sept. Albi – France: 127–134.
- [16] Hareland G.A. 1994. Evaluation of flour particle size distribution by laser diffraction, sieve analysis nad near-infrared reflectance spectroscopy. *J. Cereal Sci.* 21: 183–190.
- [17] Jankowski S. 1981. Zarys technologii młynarstwa i kaszarstwa. WNT Warszawa: 26–27.
- [18] Jankowski S. 1988. Surowce mączne i kaszowe. WNT Warszawa: 22, 100.
- [19] Jurga R. 1997. Przetwórstwo zbóż. WSiP Warszawa, cz. 1: 33, 201–203.
- [20] Jurga R. 2002. Przemiał ziarna pszenicy. Zasady przemiału. *Przeg. Zboż. Młyn.* 46(8): 39–40.
- [21] Kilborn, R.H., Black, H. C., Dexter, J. E., Martin D. G. 1982. Energy consumption during flour milling. Description of two measuring systems and influence of wheat hardness he energy requirements. *Cereal Chem.* 59(2): 284–288.
- [22] Kiryluk J., Gašiorowski H. 1999. Ocena wartości technologicznej pszenicy metodą przemiału laboratoryjnego. *Przeg. Zboż.-Młyn.* 43(11): 15–17.
- [23] Kiryluk J., Kawka A., Klockiewicz-Kamińska E., Anioła J. 1998. Charakterystyka wybranych odmian jęczmienia jako surowca do produkcji kasz i innych produktów spożywczych. *Przeg. Zboż.-Młyn.* 42(3): 29–30.
- [24] Kiryluk J., Różycka K. 1996. Wpływ wilgotności i zabiegów hydrotermicznych na własności przemiałowe owsa. *Przeg. Zboż.-Młyn.* 40(3): 26–28.
- [25] Klockiewicz-Kamińska E., Brzeziński W.J. 1996. Nowe zasady klasyfikacji jakościowe w Polskiej Ocenie Odmian. *Przeg. Zboż.-Młyn.* 40(11): 6–8.
- [26] Marshall, D.R., Mares, D.J., Moss, H.J., Ellison, F.W. 1965. Effect of grain shape and size on milling yields in wheat. II. Experimental studies. *Aust. J. Agricult. Res.* 37: 331–342.
- [27] Martin C., Herrman T.J., Loughin T., Oentong S. 1998. Micropycnometer measurement of single kernel density of healthy, sprouted and scab damaged wheats. *Cereal Chem.* 75(2): 77–180.
- [28] Matsuo R.R., Dexter J.E. 1980. Relationship between some durum wheat characteristics and semolina milling properties. *Canadian J. Plant Sci.* 60: 49–53.
- [29] Michniewicz J., Klockiewicz-Kamińska E., Kołodziejczyk P. 2000. Przydatność parametrów jakościowych do oceny wartości technologicznej ziarna pszenicy w piekarstwie. *Biul. AR w Poznaniu Zakładu Technologii Zbóż.* nr 9. Dodatek do *Przeg. Zboż.-Młyn.* 44(3): 23–26.
- [30] Mohsenin N.N. 1970. Physical properties of plant and animal materials. Structure, physical characteristics and mechanical properties. New York: Gordon and Breach Science Publishers: 734 ss.
- [31] Obuchowski W. 1997. Technologia przemysłowej produkcji makaronu. Wyd. AR Poznań: 9 ss.
- [32] Osborne G., Kotwal Z., Blankeney A.B., O'Brien L., Shah S., Fearn T. 1997. Application of the single-kernel characterization system to wheat receiving testing and quality prediction. *Cereal Chem.* 74(4): 467–470.
- [33] Perkowski J., 2000. Badania zawartości toksyn fuzaryjnych w ziarnie zbóż. *Roczniki AR w Poznaniu, Rozprawy Naukowe*, zesz. 295: 1–136.

- [34] Peyron S., Mabilille F., Devaux M.F., Autran J.C. 2003. Influence of structural characteristics of aleurone layer on milling behavior of durum wheat (*Triticum durum* DESF.). *Cereal Chem.* 80(1): 62–67.
- [35] PN-70/R-74008. Ziarno zbóż. Oznaczanie ziarn szklistych.
- [36] PN-70/R-74103. Ziarno zbóż. Pszenica zwyczajna.
- [37] Posner E.S. 1991. Wheat and flour ash as a measure of millability. *Cereal Foods World* 36(8): 626–629.
- [38] Posner E.S., A.N. Hibbs. 1997. Wheat flour milling. AACC St. Paul Minnesota: 341 ss.
- [39] Pujol R, Letang C., Lempereur I., Chaurand M., Mabile F., Abecassis J. 2000. Description of a micromill with instrumentation for measuring grinding characteristics of wheat grain. *Cereal Chem.* 77(4): 421–427.
- [40] Rahman S., Li Z., Batey I., Cochrane M.P, Appels R., Morell M. 2000. Genetic alteration of starch functionality in wheat. *J. Cereal Sci.* 31(2): 91–110.
- [41] Romański L., Niemiec A. 2001. Wpływ wilgotności ziarna pszenicy na energię rozdrabniania w gniotowniku modelowym. *Acta Agrophysica* 46: 153–158.
- [42] Sitkowski T. 1994. Ocena wartości przemiałowej ziarna pszenicy za pomocą wyników przemiału laboratoryjnego. *Biul. Centr. Lab. Przetw. i Przech. Zboż. Dodatek do Przeg. Zboż.-Młyn.* 38(6): 23–24.
- [43] Sitkowski T. 1998. Jakie ziarno do przemiału? Ocena wartości przemiałowej ziarna pszenicy wyznacznikiem przydatności do przemiału na mąkę. *Przeg. Zboż.-Młyn.* 42(5): 8–11.
- [44] Sokołowski M. 1996. Energy consumed in comminution – a new idea of and general of law of comminution – new tests stands and testing results. *Récents Progres en Génie des Procédés.* 10(45): 221–226.
- [45] Spiegel J., Klabunde M. 1995. Beziehungen zwischen Mehlausbeute und Ganzkorn – Mineralstoffgehalt in der Weizen – Verbundmuellerei. *Mühle und Mischfuttetechnik* 132(39): 627–633.
- [46] Stevens H. Evaluation of laboratory milling results. 2003. [http://www.uswheat.org/TechArticles.nsf/0/ec5e34c0ba88a997882567f7007c1d47/\\$FILE/](http://www.uswheat.org/TechArticles.nsf/0/ec5e34c0ba88a997882567f7007c1d47/$FILE/)
- [47] Sutton K.H., Hay R.L., Mouat C.H. 1992. The effect of kernel weight on the assesment of baking performance of wheats by RP_HPLC of glutenin subunits from single grain. *J. Cereal Sci.* 15: 253–265.
- [48] Symons S. J., Van Schepdael L., Dexter J. E. 2003. Measurement of hard vitreous kernels in durum wheat by machine vision (1). *Cereal Chem.* 80(5): 511–517.
- [49] Williams P. 1997. Variety development and quality control of wheat in Canada. Paper presented at the International Japanese Conference on Near-Infrared Reflectance. <http://www.grainscanada.gc.ca/Cdngrain/VarietyDev/variety1-e.htm>.
- [50] Williams P., 2003. Applications of the Perten SKCS 4100 in flour-milling. 1998. Text of presentation to 10th Annual Conference and Exposition, Association of Operative Millers, Middle East and East Africa Section, Nairobi, Kenya, November, <http://www.www.grainscanada.gc.ca\pubs\pubmenu-e.htm>.

Methods to evaluating milling properties of wheat grain

Key words: wheat grain, milling properties, milling value

Summary

Paper presents the methods used to evaluating milling value of wheat grain. Physical and chemical properties of grain which influence the milling process, were described. The quantitative and qualitative indices determined on the basis of laboratory milling tests were described too. It was shown, that the indices of energy consumption should be a useful tool to evaluate the milling value of wheat grain.