

PRZEMIAŁ PSZENICY I WPŁYW TWARDOŚCI ZIARNA NA TEN PROCES

Dariusz Dziki, Renata Różyło, Janusz Laskowski

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin
e-mail: dariusz.dziki@up.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono ogólną charakterystykę przemiału ziarna pszenicy. Omówiono poszczególne etapy tego procesu ze szczególnym uwzględnieniem etapów śrutowania, wymielania oraz sortowania mlewa. Przeanalizowano także wpływ twardości ziarna na ten proces i opisano metody pomiaru twardości mające największe zastosowanie praktyczne. Przedstawiono również przykładowe histogramy rozkładu twardości pszenicy wyznaczone przy wykorzystaniu analizatora pojedynczych ziarniaków.

Słowa kluczowe: pszenica, przemiał, twardość

WSTĘP

Głównym kierunkiem wykorzystania ziarna pszenicy jest produkcja żywności. W Polsce na ten cel przeznaczają się około 47% zbiorów, w Europie udział ziarna wykorzystywanego w przemyśle spożywczym jest nieco większy (około 50%) (Cacak-Pietrzak 2008), a w skali światowej wynosi ponad 70% (Psaroudaki, 2007). Większa część zbiorów ziarna przeznaczonego na cele spożywcze poddawana jest przemiałowi, w wyniku którego uzyskuje się mąki, będące surowcem do produkcji pieczywa, makaronów, wyrobów ciastkarskich i kulinarnych. W Polsce na przemiał przeznaczają się około cztery mln ton pszenicy i około jednego mln ton żyta. Pozwala to na wyprodukowanie około 3,6 mln ton mąki, z czego około 80% to mąka pszenna. Mąka z innych gatunków zbóż: owsiana, kukurydziana, jęczmienna czy orkiszowa to produkty wytwarzane w niewielkich ilościach na specjalne zamówienie odbiorców (Obodzińska 2006).

Na wynik procesu przemiału oddziałuje zarówno stosowany schemat przemiałowy, jak i właściwości ziarna. Spośród właściwości pszenicy szczególnie istotny wpływ na ten proces mają cechy mechaniczne ziarniaków. Decydują one o przebiegu przemiału i o parametrach jakościowych uzyskiwanej mąki, przy czym dla ziarna pszenicy najczęściej wyznacza się twardość. Jednak sposób wyznaczania tej cechy dla celów praktycznych zdecydowanie odbiega od klasycznych metod pomiaru tej właściwości, używanych powszechnie dla materiałów konstrukcyjnych.

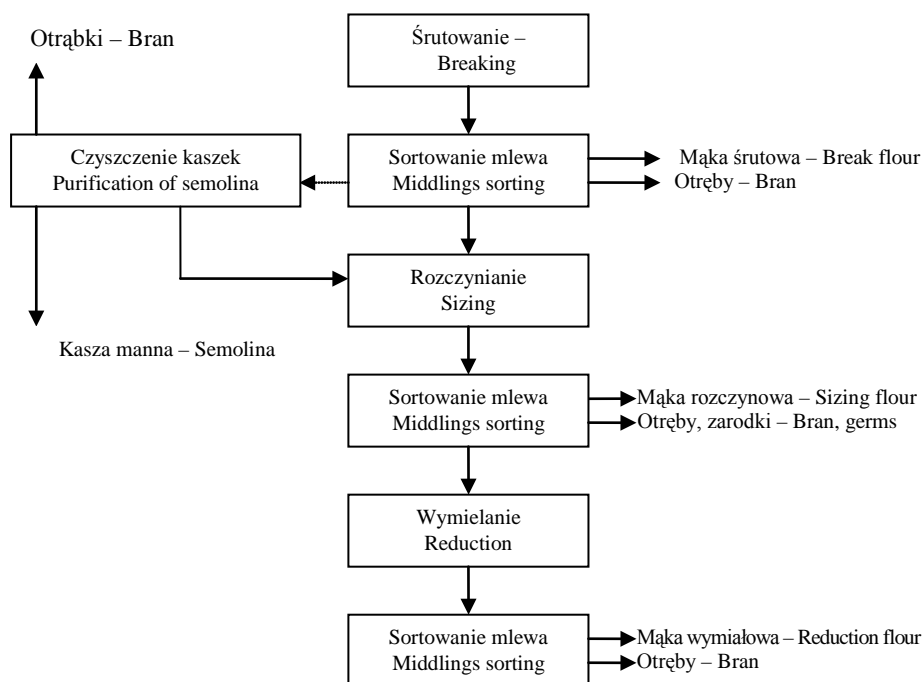
Celem pracy było przedstawienie ogólnej charakterystyki przemiału pszenicy, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu twardości ziarna na ten proces.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PRZEMIAŁU ZIARNA PSZENICY

Głównym celem przemiału jest najczęściej produkcja mąki jasnej, polegająca na jak największym wydobyciu z ziarna frakcji bielma. Natomiast produkt uboczny stanowią zarodki oraz okrywa owocowo-nasienna, która tworzy frakcję otrąb. Przemiał ziarna jest procesem wieloetapowym i polega na stopniowym oraz selektywnym rozdrabnianiu uprzednio oczyszczonych i podanych kondycjonowaniu ziarniaków. Podczas przemiału wykorzystuje się różnice w podatności na rozdrabnianie poszczególnych części ziarna. Okrywa owocowa-nasienna wraz z warstwą aleuronową i zarodek rozdrabniają się trudniej niż bielmo i do cząstek o większych wymiarach. Nawilżenie ziarna powiększa te różnice (Sugden 2001). Ważny jest także sposób rozdrabniania. Stosowanie mlewników walcowych jako głównych maszyn rozdrabniających w procesie przemiału również przyczynia się do zróżnicowania stopnia rozdrobnienia okrywy owocowej i bielma. Podczas dekohezji ziarna w mlewniku występuje głównie działanie zgniatająco-rozciągające, które powoduje mniejsze rozdrobnienie okrywy. Dzięki temu na drodze separacji sitowej, bądź sitowo-powietrznej oddziela się cząstki bielma. Po każdym etapie rozdrabniania następuje sortowanie międzyproduktów przemiału (tzw. mlewa) z każdorazowym wydzieleniem mąki (Posner i Hibbs 1997). Natomiast pozostałe cząstki (większe cząstki bielma z przylegającą okrywą i bez okrywy) są rozdrabniane w kolejnych etapach przemiału. Klasyczny przemiał realizowany jest najczęściej w kilkunastu etapach zwanych pasażami przemiałowymi. Dawne technologie propagowały nawet kilkadziesiąt pasaży, ale ze względu na koszty produkcji oraz wytwarzanie wielu typów mąki nieznacznie różniących się właściwościami zaniechano tego rodzaju przemiału (Bogaczyński 2007).

W całym procesie przemiału ziarna pszenicy można wyróżnić kilka faz rozdrabniania i odsiewania, takich jak: śrutowanie, sortowanie, czyszczenie kaszek, rozczynianie oraz wymielanie kaszek i miałów (rys. 1). Celem śrutowania ziarna i mlewa przy przemiale pszenicy jest wstępne rozdrobnienie, w celu uzyskania dużej ilości większych cząstek bielma tzw. kaszek i miałów. Cząstki te sortuje się

na frakcje wielkościowe i rozdrabnia w kolejnych etapach przemiału. Proces śrutowania pszenicy obejmuje najczęściej od 4-5 pasaży przemiałowych, a łączna ilość uzyskiwanej mąki z tych pasaży wynosi około 15%, przy czym za mąkę przyjmują się najczęściej frakcje cząstek o wielkości poniżej 150 μm . Natomiast kaszki mieszczą się przeważnie w zakresie wielkości od 300 do 1000 μm , zaś miały to cząstki pośredniej wielkości (Jurga 2009b).



Rys. 1. Uproszczony schemat przemiału ziarna pszenicy

Fig. 1. Simplified diagram of wheat flour milling

Sortowanie i czyszczenie kaszek odbywa się przy wykorzystaniu odsiewaczy płaskich i wialni kaszkowych. W odsiewaczach płaskich sortowanie następuje na zasadzie różnicy w wielkości cząstek, natomiast w wialniach dodatkowo cząstki są sortowane w strumieniu powietrza (Posner i Hibbs 1997), co pozwala na otrzymanie mąki o największej czystości (niska zawartość substancji mineralnych). Zaznaczyć należy, że przed skierowaniem mlewa do czyszczenia w wialni cząstki muszą być odmaçzone i posegregowane na frakcje wielkościowe. Do tego celu wykorzystuje się odsiewacze. Praktycznie stosowanie wialni kaszkowych jest

niezbędne przy produkcji mąki jasnej o zawartości substancji mineralnych (tzw. popiołu) poniżej 0,5%. Z umieszczenia wialni kaszkowej w schemacie przemiałowym można zrezygnować, gdy młyn ma produkować głównie mąki powyżej 0,55% popiołu oraz gdy nie przewiduje się produkcji kaszy manny (Jurga 2009a). Ponadto wialnie kaszkowe są niezastąpione przy przemiale pszenicy amber durum na kaszkę makaronową (semolinę).

Rozczynianie kaszek jest zabiegiem obejmującym od 2 do 4 pasaży przemiałowych i polega na zmniejszeniu wymiarów cząstek bielma, do których przylegają fragmenty okrywy owocowo-nasiennej. W procesie tym następuje również wydzielanie zarodków. Zabieg ten może stanowić oddzielny etap w procesie przemiału, jak również może być ujęty bez wydzielania w etapie wymielania kaszek i miałów. Przy rozczynianiu kaszek grubych wydziela się pewną ilość mąki najwyższej jakości. Ogólna ilość mąki rozczynowej wynosi około 20% (Jurga 2003).

Wymielanie kaszek i miałów ma na celu uzyskanie jak największej ilości mąki jasnej. Proces ten obejmuje najczęściej od 6-9 pasaży przemiałowych. Liczba pasaży zależy od stopnia rozwinięcia procesów poprzednich tj. sortowania, czyszczenia kaszek i miałów oraz rozczyniania. Do wymielania poza mlewnikami walcowymi stosuje się inne maszyny wspomagające proces rozdrabniania i odsiewania, takie jak, rzutniki kanałowe, entoletery, rzutniki kaszek czy detaszery (Jurga 2009c). Wymielanie dostarcza ok. 50-60% ogólnej ilości mąki (Jurga 2006).

Przemiał może być jedno- bądź wielogatunkowy. Przykładem przemiału jednogatunkowego jest produkcja mąki jasnej o zawartości popiołu 0,52-0,55%. Mąka taka jest odpowiednia do wypieku pieczywa oraz dla większości zastosowań w gospodarstwie domowym. W przemiale wielogatunkowym produkuje się jednocześnie kilka typów mąki, np. mąkę jasną typ 500, mąkę chlebową typu 700-950 i mąkę tortową typ 450 (Bogaczyński 2007).

Ze względu na dużą energochłonność przemiału współcześnie dąży się do intensyfikacji tego procesu, poprzez zmniejszenie liczby pasaży przemiałowych, dzięki zwiększeniu obciążenia maszyn rozdrabniających i odsiewających. Szczególnie zastosowanie znajdują coraz częściej mlewniki ośmiowalcowe (Posner i Hibbs 2004), które znacznie redukują nakłady energii na proces śrutowania (Fistes i in. 2008).

W praktyce przemysłowej efektywność pracy młyna przy przemiale gatunkowym pszenicy mierzy się wyciągiem mąki jasnej, o zawartości substancji mineralnych najczęściej do 0,5%. Najwyższy uzyskiwany w tym kontekście wyciąg mąki wynosi około 72% (Jurga 2008). Powyżej tego wyciągu następuje pogorszenie właściwości wypiekowych mąki (Bogaczyński 2007).

ZNACZENIE TWARDOŚCI ZIARNA PSZENICY W PROCESIE PRZEMIAŁU

Wynik przemiału, poza stosowanym schematem przemiałowym i parametrami pracy maszyn i urządzeń, zależy od właściwości surowca. W przypadku pszenicy bardzo istotnym parametrem jest twardość. Cecha ta określa stopień adhezji między ziarnami skrobi a matrycą białkową (Mikulikova 2007). Twardość ziarna jest w głównej mierze zależna od czynników genetycznych (Greffeuille i in. 2006b), ale może również się zmieniać pod wpływem zabiegów agrotechnicznych i warunków klimatycznych. W szczególności nawożenie azotowe istotnie oddziałuje na twardość pszenicy (Dziamba i in. 2001). Za twardość pszenicy odpowiedzialny jest gen Ha znajdujący się na krótkim ramieniu chromosomu 5D. To gen o skomplikowanej budowie, który koduje dwa typy białek – puroindolinę a (PINa) i puroindolinę b (PINb), charakterystyczny dla odmian pszenicy o miękkim bielmie (Mikulikova 2007). Zawartość wody w ziarnie również istotnie oddziałuje na twardość. Wzrost wilgotności ziarna powoduje istotne zmiany jego właściwości mechanicznych w tym spadek twardości. Ponadto wielokrotne nawilżanie i wysychanie ziarniaków w warunkach polowych może prowadzić do licznych pęknięć poprzecznych bielma, a tym samym spowodować spadek twardości ziarna (Grundas i Styk 1990). Niektórzy autorzy wykazują związki twardości z zawartością białka w ziarniakach. Jednak udowodniono, że twardość ziarna zależy nie od ilości białka, ale od jego składu i rozmieszczenia w ziarniakach (Mikulikova 2007). Twardość ziarna często powiązana jest ze szklistością. Ziarniaki o bardziej szklistym bielmie są z reguły bardziej twarde (Gleen i Johnson 1994).

Twardość pszenicy informuje o przydatności technologicznej ziarna. Odmiany pszenicy o miękkim bielmie to przeważnie dobry surowiec do produkcji mąki ciastkarskiej oraz niektórych rodzajów makaronu (tzw. klusek). Pszenice o twardości pośredniej powszechnie wykorzystuje się do wyrobu mąki na cele piekarskie. Natomiast ziarno o największej twardości to najczęściej dobry surowiec do produkcji semoliny, kuskusu oraz pszenicy ekspandowanej (Williams 2003). Jednakże zaznaczyć należy, że twardość nie może być jedynym wyróżnikiem jakościowym, ale daje już pewne pośrednie informacje na temat możliwości wykorzystania pszenicy.

Z technologicznego punktu widzenia twardość ziarna ma najistotniejsze znaczenie w procesie przemiału. Od właściwości tej zależy sposób przygotowania surowca do produkcji mąki, a w szczególności kondycjonowanie, jak również przebieg rozdrabniania i sortowania młewa. Ziarno pszenicy odmian o twardym bielmie ma z reguły bardziej kruchą okrywą i wymaga mniej intensywnego czyszczenia powierzchniowego niż ziarno o miękkim bielmie. Ponadto parametry procesu kondycjonowania powinny być uzależnione od twardości pszenicy. Stopień rozdrobnienia ziarna na kolejnych pasażach zależy między innymi od jego

twardości i wilgotności. Przy przemiale ziarna twardego stosuje się nieco wyższe poziomy nawilżania pszenicy (zwykle 16-17%) niż w przypadku surowca o miękkim bielmie (Fang i Campbell 2003). Wyższy poziom nawilżenia ziarna powoduje większe uelastycznienie okrywy, która nie rozdrabnia się nadmiernie i dzięki temu można ją oddzielić. Bielmo odmian pszenicy twardej, a w szczególności pszenicy amber durum, charakteryzuje się znacznie większą wytrzymałością niż bielmo miękkich odmian (Haddad i in. 1999). Nawilżenie ziarna powoduje spadek jego wytrzymałości, dzięki czemu zużycie elementów roboczych maszyn jest niższe. Ziarno odmian pszenicy o miękkim bielmie nawilża się do niższych poziomów wilgotności (15-15,5%) (Fang i Campbell 2003). Okrywa tego rodzaju pszenicy przeważnie trudniej się wymiela i jest bardziej odporna na rozdrabniania niż w przypadku ziarna odmian twardych. Również czas leżakowania ziarna po nawilżeniu istotnie zależy od twardości bielma. Woda wnika znacznie wolniej w bielmo ziarna twardego w porównaniu do ziarna o miękkim bielmie. Dlatego też czas leżakowania pszenicy o większej twardości jest dłuższy i wynosi, w zależności od sposobu nawilżania, systemu przemiału oraz twardości ziarna, najczęściej od kilku do kilkudziesięciu godzin. W celach praktycznych opracowano diagram określający optymalny poziom wilgotności i czasu leżakowania ziarna w zależności od twardości pszenicy (Zwingelberg 2006).

W przypadku odmian pszenicy twardej ziarna skrobi są ściśle osadzone w macrycy białkowej. Natomiast u odmian pszenicy miękkiej ziarna te w znacznie mniejszym stopniu związane są z matrycą. Podczas rozdrabniania ziarna pszenicy o twardym bielmie, na skutek silnej adhezji pomiędzy cząsteczkami skrobi a matrycą białkową, pęknięcia następują głównie wzdłuż ścian komórkowych (Osborne i in. 2007). W rezultacie tego uzyskuje się mąkę o grubszej granulacji, a ziarna skrobiowe ulegają częściowemu uszkodzeniu (Letang i in. 2001). W ziarniakach o miękkiej strukturze bielma skrobia prawie w ogóle nie ulega uszkodzeniu, gdyż jej ziarna są słabo związane z matrycą białkową i potrzeba znacznie mniejszych nakładów energii do zniszczenia struktury bielma. W skrajnych przypadkach różnice energochłonności rozdrabniania pszenicy o twardym i miękkim bielmie dochodzą do 100% (Pujol i in. 2000). W efekcie przemiału ziarna miękkiego otrzymuje się mąkę o drobniejszej granulacji, trudniej przesiewającą się przez sita i o podwyższonej adhezji cząstek (Haddad i in. 1999). Ponadto wykazano, że twardość ziarna istotnie oddziałuje na ilość uzyskiwanej mąki, a szczególnie na wyciąg mąki śrutowej. Udział tej mąki zwiększa się nieliniowo wraz ze spadkiem twardości ziarna (Williams 2003). Natomiast twardość pszenicy w mniejszym stopniu wpływa na całkowity wyciąg mąki. Jedynie w przypadku ziarna o bardzo twardym bielmie, można zaobserwować spadek wyciągu mąki w porównaniu do ziarna o bielmie miękkim (Dziki i Laskowski 2000, Williams 2003).

Od twardości ziarna zależą również właściwości mąki. Mąka uzyskana z przemiału ziarna twardych odmian pszenicy, ze względu na większy stopień uszkodzenia skrobi, charakteryzuje się wyższą wodochłonnością (Pomeranz i in. 1984), a tym samym wydajność pieczywa jest większa.

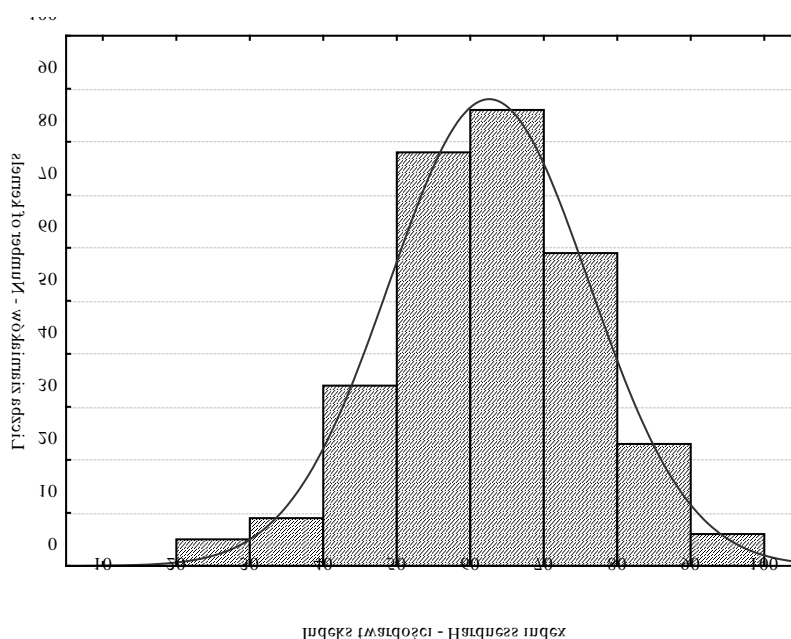
METODY POMIARU TWARDOŚCI ZIARNA PSZENICY

Metody pomiaru twardości ziarna zbóż doskonalone są od wielu lat. Istnieje szereg metod pomiaru twardości ziarna, które ogólnie możemy podzielić na technologiczne i wytrzymałościowe (Frączek i in. 2003).

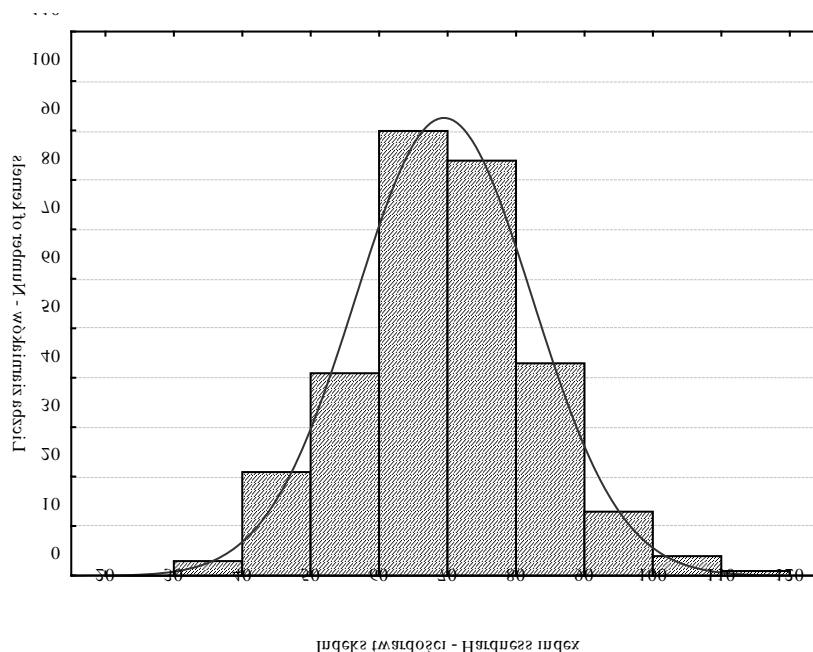
Pomimo, że w przypadku materiałów konstrukcyjnych metody pomiaru twardości są powszechnie akceptowane, to w odniesieniu do materiałów roślinnych sytuacja jest znacznie bardziej utrudniona. Skomplikowana komórkowa budowa, niewielkie wymiary i złożony kształt surowców ziarnistych powodują duże trudności w zastosowaniu metod klasycznych do pomiaru twardości pojedynczych ziarniaków. Metody te znajdują najczęściej zastosowanie do określania mikro-twardości głównie wyselekcjonowanych fragmentów bielma (Haddad i in. 1999, Dobraszczyk 2002). Są również opracowania, w których określa się twardość dla całych ziarniaków. Do takich testów możemy zaliczyć między innymi metodę polegającą na połączeniu metod Rocwella oraz Vickersa (Frączek i in. 2003). Jednak największe znaczenie praktyczne mają tzw. technologiczne wskaźniki twardości. Szczególnie w odniesieniu do ziarna pszenicy współczesna analityka rozwinęła szereg metod pomiaru twardości, takich jak metoda WHI (Wheat Hardness Index), NIR (Near Infrared Reflectance), PSI (Particie Size Index) i HI (Hardnes Index wyznaczony urządzeniem SKCS). W metodach tych twardość wyrażana jest pośrednio. W metodzie WHI twardość jest określana jako iloraz maksymalnego momentu skręcającego, podczas rozdrabniania próbki ziarna do ilości uzyskanej mąki (Gąsiorowski i in. 1999). Technika NIR polega na analizie rozdrobnionego materiału metodą spektroskopii odbiciowej w bliskiej podczerwieni (NIR). Metoda ta poza zastosowaniem do określania twardości pszenicy wykorzystywana jest na szeroką skalę do analizy składu wielu surowców i produktów spożywczych. Metoda PSI polega na rozdrobnieniu określonej masy próbki ziarna i przesianiu śruty przez sito o granulacji 74 μm bądź 160 μm . Ilość uzyskanego przesiewu jest odwrotnie proporcjonalna do twardości ziarna. Interesującą metodą jest system charakterystyki pojedynczych ziarniaków (SKCS). Urządzenie SKCS w ciągu kilku minut określa indeks twardości (HI), wielkość (średnicę zastępczą), wilgotność i masę kolejno dla 300 pojedynczych ziarniaków (Grundas 2004). Wskaźnik HI zawiera się przeważnie w przedziale od około 5 (ziarno odmian pszenicy o bardzo miękkim bielmie) do około 105 (ziarniaki pszenicy amber durum) (Williams 2000). Parametr ten wyraża się pośrednio, na

podstawie pomiaru siły podczas kruszenia pojedynczych ziarniaków. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono przykładowe histogramy rozkładu twardości ziarniaków odmian pszenicy Kaja oraz Torka, uzyskane podczas badania ziarna na analizatorze SKCS (Dziki 2008). Ziarno tych odmian można odpowiednio zaklasyfikować do grupy średnio twardej i twardej (średnia wartość indeksu twardości HI jest równa 64 i 79). Wśród każdej odmiany wstępują zarówno ziarniaki miękkie ($HI < 50$) i bardzo twarde ($HI > 80$). Dlatego też, aby średnia była reprezentatywna pomiar przeprowadzany jest dla 300 pojedynczych ziarniaków danej odmiany.

Zaznaczyć należy, że metody NIR, PSI i SKCS są znormalizowane przez American Association of Cereal Chemists (AACC Approved Methods: 39-70, 55-30, 55-31, 2000). Poza wymienionymi metodami istnieje szereg innych testów, które pozwalają na pośrednią ocenę twardości ziarna pszenicy. Jednak nie znalazły one szerszego zastosowania w praktyce. Ponadto metoda SKCS może być wykorzystana do określania zmian twardości ziarna spowodowanych przez różne czynniki, takie jak porastanie (Olejarski i in. 2007), czy porażenie przez szkodniki zbożowo mączne (Miś i Grundas 2003).



Rys. 2. Histogram rozkładu indeksu twardości 300 ziarniaków pszenicy odmiany Kaja
Fig. 2. Histogram of wheat hardness index for 300 individual kernels of cv. Kaja



Rys. 3. Histogram rozkładu indeksu twardości 300 ziarniaków pszenicy odmiany Torca
Fig. 3. Histogram of wheat hardness index for 300 individual kernels of cv. Torca

PODSUMOWANIE

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat obserwuje się coraz częściej zwiększanie obciążenia maszyn rozdrabniających i odsiewających. Pozwala to na skrócenie schematów przemiałowych, a tym samym ogranicza koszty inwestycyjne i zużycie energii. Szczególnie coraz częściej w pasażach śrutowych stosuje się tzw. przemiał wielokrotny, podczas którego mlewo nie jest sortowane między kolejnymi etapami rozdrabniania. Jednak w dalszym ciągu zbyt małą rolę przywiązuje się do właściwości przemielanego ziarna. Ziarno pszenicy w zależności od twardości wymaga innych warunków kondycjonowania i przemiału. Również właściwości mąki zależą istotnie od tej cechy. Produkcja mąki z ziarna o miękkim i twardym bielmie, przy zastosowaniu tych samych warunków przemiału prowadzi do zaniżania wyciągu mąki jasnej i wzrostu w niej substancji mineralnych. Pomimo bezsprzecznego wpływu twardości ziarna na przemiał, parametr ten powszechnie nie jest oceniany w warunkach przemysłowych, a jedynie niekiedy charakteryzowany pośrednio poprzez ocenę barwy bądź szklistości ziarna. Określenie twardości na etapie przyjęcia pszenicy do przerobu przyczyniłoby się do większej efektywności procesu przemiału.

PIŚMIENNICTWO

- American Association of Cereal Chemists, 2000. Approved Methods of the AACC. Methods 39-70A, 55-30 and 55-31. 10th ed., the Association, St. Paul, MN.
- Bogaczyński K., 2007. Możliwości sterowania jakością mąki w młynie. Przemiał wielo- czy jednogatunkowy? *Przeg. Zboż.-Młyn.*, 54(3), 16-18.
- Cacak-Pietrzak G., 2008. Wykorzystanie pszenicy w różnych gałęziach przemysłu spożywczego – wymagania technologiczne. *Przeg. Zboż.-Młyn.*, 52(11), 11-13.
- Dobraszczyk B.J., 2002. Single kernel wheat hardness and fracture properties in relation to density and the modelling of fracture in wheat endosperm. *J. Cereal Sci.*, 35, 235-263.
- Dziamba J., Dzik D., Laskowski J., 2001. Wpływ nawożenia azotowego na wybrane właściwości ziarna pszenicy. *Inż. Roln.*, 10(30), 121-127.
- Dzik D., 2008. Analiza wpływu wstępnego zgniatania ziarna zbóż na rozdrabnianie udarowe. *Rozprawy naukowe AR w Lublinie. z. 326*, 31-32.
- Dzik D., Laskowski J., 2000. Badanie właściwości przemiałowych wybranych odmian pszenicy. *Inż. Roln.*, 8(19), 63-69.
- Fang Ch., Campbell G.M., 2003. On Predicting Roller Milling Performance V: Effect of moisture content on the particle size distribution from first break milling of wheat. *J. Cereal Sci.*, 37, 31-41.
- Fistes, A., Tanovic, G., Mastilovic, J., 2008. Using the eight-roller mill on the front passages of the reduction system. *J. Food Eng.*, 85, 296-302.
- Frączek J., Kaczorowski J., Ślipek Z., Horabik J., Molenda M., 2003. Standaryzacja metod pomiaru właściwości fizyczno-mechanicznych roślinnych materiałów ziarnistych. *Acta Agrophysica*, 92, 47-72.
- Gąsiorowski H., Kolodziejczyk P., Obuchowski W., 1999. Twardość ziarna pszenicy. *Przeg. Zboż.-Młyn.*, 7, 6-8.
- Glenn, G.M., Johnston, R.K., 1994. Water vapor diffusivity in vitreous and mealy wheat endosperm. *J. Cereal Sci.*, 20, 275-282.
- Greffeuille V., Abecassis J., Rousset M., Oury F.-X., Faye A., Bar L'Helgouac'h C., Lullien-Pellerin V., 2006. Grain characterization and milling behaviour of near-isogenic lines differing by hardness. *Theor. Appl. Gen.*, 114, 1-12.
- Grundas S., 2004. Charakterystyka właściwości fizycznych ziarniaków w kłosach pszenicy zwyczajnej. *Acta Agrophysica*, 102, 27-30.
- Grundas S., Styk B., 1990. Reason and practical aspects of wheat grain endosperm cracks. *Summaries of 13th ICC Congress in Lahti, Finland*, 62.
- Haddad Y., Benet J.C., Delenne Y., Mermet A., Abecassis J., 2001. Rheological behavior of wheat endosperm – proposal for classification based on the rheological characteristics of endosperm test sample. *J. Cereal Sci.*, 34, 105-113.
- Haddad Y., Mabilie F., Mermet A., Abecassis J., Benet, J.C. 1999. Rheological properties of wheat endosperm with a view on grinding behaviour. *Powder Technol.*, 105, 89-94.
- Jurga R. 2003. *Technika i technologia produkcji mąki pszennej*. Wydawnictwo SIGMA-NOT, Warszawa.
- Jurga R. 2009a. *Poradnik młynarza. Sortowanie (odsiewanie) produktów rozdrabniania. Część 3. Sortowanie i czyszczenie kaszek, wialnie kaszkowe i inne maszyny odsiewające*. *Przeg. Zboż.-Młyn.*, 53(4), 39-40.
- Jurga R., 2009b. *Poradnik młynarza. Podstawowe zasady przemiału pszenicy*. *Przeg. Zboż.-Młyn.*, 53(6), 38-40.
- Jurga R., 2009c. *Poradnik młynarza. Inne rozdrabniacze stosowane do ziarna i mlewa*. *Przeg. Zboż.-Młyn.*, 53(1), 39-40.
- Jurga R., 2006. Ogólna charakterystyka procesu przemiału ziarna. *Przeg. Zboż.-Młyn.*, 50(6), 75-76.

- Letang C., Samson M.-F., Lasserre T.-M., Chaurand M., Abecassis J., 2001. Production of starch with very low protein content from soft and hard wheat flours by jet milling and air classification. *Cereal Chem.*, 79(4), 535-543.
- Mikulikova D., 2007. The effect of frabalin on wheat grain hardness. *Czech J. Genet. Plant Breed.*, 43(2), 35-43.
- Miś A., Grundas, S., 2002. Wheat grain hardness modified by the laboratory sprouting test. *Int. Agrophysics*, 16, 283-288.
- Obodzińska E., 2006. Mąka nasza powszednia. *Fresh & Cool Market*, 6, 32-33.
- Olejarski P., Nawrot J., Grundas S., 2007. Przydatność wyników pomiarów parametrów fizycznych ziarna dla określenie obecności wołka zbożowego. *Postępy w Ochronie Roślin*, 47(1), 88-91.
- Osborne B.G., Henry R.J., Southan M.D., 2007. Assessment of commercial milling potential of hard wheat by measurement of the rheological properties of whole grain. *J. Cereal Sci.*, 45, 122-127.
- Pomeranz Y., Bolling H., Zwingelberg H., 1984. Wheat hardness and baking properties of wheat flours. *J. Cereal Sci.*, 2(3), 137-143.
- Posner E. S., Hibbs A.N., 2004. *Wheat flour milling*. American Association of Cereal Chemistry, Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- Psaroudaki, A., 2007. An extensive survey of the impact of tropospheric ozone on the biochemical properties of edible plants. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 3, 99-110.
- Pujol, R., Letang, C., Lempereur, A., Chaurand, M., Mabile, F., Abecassis, J., 2000. Description of a micro-mill with instrumentation handicap measuring grinding characteristics of wheat kernel. *Cereal Chem*, 77, 421-427.
- Sugden, T.D., 2001. Wheat flour milling, Part 1. In 'Cereals and Cereal Products: Chemistry and Technology', (D. A. V. Dendy and B. J. Dobraszczyk eds), Aspen Publishers Inc., Maryland, USA, 140-172.
- Williams P.C., 2000. Applications of the Perten SKCS 4100 in flour-milling. *Association of Operative Millers Bulletin*, March, 7421-7424.
- Williams P.C., 2003. Variety development and quality control of wheat in Canada. Paper presented At the International Japanese Conference on Near-Infrared Reflectance. 1997, <http://www.grains.canada.gc.ca/Cdngrain/VarietyDev/variety1-e.htm>, 12.2003.
- Zwingelberg H., 1981. Die Vorbereitung von Getreide am Beispiel neuer Netzverfahren. *Mühle Mischfuttertech.*, 143, 20, 641.

WHEAT FLOUR MILLING AND THE INFLUENCE OF GRAIN HARDNESS ON THE PROCESS (a review)

Dariusz Dziki, Renata Rożyło, Janusz Laskowski

Department of Machine Operation in the Food Industry, University of Life Sciences
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin
e-mail: dariusz.dziki@up.lublin.pl

Abstract. This paper presents overall characteristics of wheat flour milling process. The individual milling stages are discussed, such as breaking, sizing and sorting of ground wheat. The relationships between grain hardness and milling process are also discussed. The methods of wheat grain hardness measurement are described. Examples of wheat hardness index histograms obtained by using the Single Kernel Characterisation System are also presented.

Keywords: milling, wheat, hardness