

Ignacy NIEDZIÓŁKA
Mariusz SZYMANEK

PRZEMYSŁOWE I ENERGETYCZNE WYKORZYSTANIE ZIARNA KUKURYDZY

Utilization of maize grain for industrial and energetistics purposes

Wstęp

Kukurydza należy do najstarszych i najszerzej uprawianych roślin rolniczych na świecie. Spośród kilku jej podgatunków największe znaczenie gospodarcze ma kukurydza pastewna, szklista, pękająca oraz cukrowa. Stanowią one bazę surowcową nie tylko dla przemysłu rolnego i spożywczego, ale coraz szerzej wchodzi m.in. do przemysłu chemicznego i energetycznego.

Użycie surowców roślinnych (czyli tzw. surowców odnawialnych) niesie za sobą szereg korzyści, w tym głównie ekologicznych i ekonomicznych. Należą do nich m.in. oszczędności nieodnawialnych surowców kopalnych, możliwości biologicznego recyklingu, stabilności zawartości CO₂ w atmosferze, a przede wszystkim – poszerzenia rynków zbytu produktów rolnych.

Kukurydza jest jednym z najważniejszych surowców roślinnych o wszechstronnym zastosowaniu, w tym również na cele niespożywcze i pozarolnicze. Plony suchego ziarna kukurydzy dochodzą do 10 t z ha i więcej. Obecnie poszukuje się możliwości szerszego wykorzystania ziarna wyprodukowanego w gorszych warunkach klimatycznych i glebowych Europy zachodniej i środkowo-wschodniej [6].

Produkcja skrobi z ziarna kukurydzy

Skrobia w różnej postaci jest jednym z podstawowych półproduktów na rynku światowym, niezbędnym zarówno w przemyśle spożywczym, jak i innych działach przemysłu np. chemicznego i papierniczego. Produkcja skrobi z ziarna kukurydzy odbywa się metodą przemiału na mokro. Ziarniaki kukurydzy składa-

Dr hab. inż. **Ignacy Niedziółka**, mgr inż. **Mariusz Szymanek**, Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego Akademii Rolniczej w Lublinie.

ją się z dwóch zasadniczych części, tj. bielma (stanowiącego około 82% suchej masy) oraz zarodka (ok. 12% s.m.). Pozostałe elementy to okrywa owocowo-nasienna i część nasadowa ziarniaka (tab. 1). Dobrze wykształcone bielmo i łatwy do oddzielenia zarodek to główne źródło skrobi i innych węglowodanów, stanowiących około 85% jego zawartości. Pozostałe substancje takie jak białko i tłuszcze są cennymi produktami ubocznymi. Mogą one jednak przy niewłaściwym zbiorze i konserwacji ziarna lub nieodpowiednim jego przerobie zanieczyszczać produkt podstawowy i pogarszać jego jakość [4].

Tabela 1. Skład chemiczny ziarna kukurydzy w % [6]

Składniki	Całe ziarniaki	Bielmo	Zarodki	Okrywa	Część nasadowa
Sucha masa	100.0	82.0	12.0	4.0	2.0
Skrobia, cukry	73.3	85.0	9.0	9.0	10.0
Białko	10.0	12.0	28.0	7.0	12.0
Lipidy	4.4	1.6	38.0	1.0	4.0
Włókno	2.4	1.0	15.0	79.0	60.0
Popiół	1.3	0.4	10.0	4.0	14.0

Do podstawowych wymagań jakościowych stawianych skrobi należy zaliczyć: wysoki stopień bieli, duży udział ziaren skrobi ($> 10 \mu\text{m}$), niską zawartość białka i lipidów oraz małą lepkość zawiesiny i dużą stabilizację alkaliczną. Aby wymagania te zostały spełnione, należałoby uprawiać odmiany o odpowiednich właściwościach. Wśród nich występują zarówno odmiany zębokszałtne o luźniejszym bielmie, jak i szkliste zawierające dwie frakcje skrobi. Obecnie w przemyśle spożywczym bardziej poszukiwane są odmiany kukurydzy woskowej lub skrobiowej, zawierające jeden rodzaj skrobi [10].

Ziarno przeznaczone dla przemysłu skrobiowego powinno być w pełni rozwinięte i dobrze wykształcone oraz zdrowe i nieuszkodzone w czasie zbioru. Ze względu na to, że stosowane w technologii mokre mielenie musi być poprzedzone moczeniem ziarna, wszelkie pęknięcia i uszkodzenia powodują straty skrobi. Dlatego też wymagania odnośnie suszenia są większe niż w przypadku kukurydzy przeznaczonej do przerobu na sucho. Zaleca się, aby temperatura czynnika suszącego nie przekraczała 90°C , przy wilgotności ziarna powyżej 30%, a sposób suszenia uniemożliwiał przekroczenie temperatury $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$ we wnętrzu ziarniaków [3].

Istotną rolę dla jakości kukurydzy uprawianej na skrobię może odgrywać przebieg pogody. Natomiast czynniki agrotechniczne, takie jak stanowisko czy nawożenie, mają przede wszystkim znaczenie plonotwórcze i nie wpływają zasadniczo na jakość ziarna przeznaczonego do produkcji skrobi. W związku z tym zachodzi konieczność uprawy odmian wczesnych, które zapewnią zbiór w dojrzałości fizjologicznej ziarna, przy możliwie niskiej zawartości wody i dobrej jakości skrobi. Ma to szczególne znaczenie w rejonach o mniej korzystnych warunkach klimatycznych.

Przerób ziarna kukurydzy w młynarstwie

Głównym produktem przemiału ziarna kukurydzy jest gruba kasza, zwana grysem, uzyskiwana ze szklistej części bielma. Używa się jej w żywieniu oraz w browarnictwie jako dodatek do siodu. Do podstawowych wymagań dotyczących ziarna kukurydzy przeznaczonego do przerobu młynarskiego należy zaliczyć odpowiednią budowę anatomiczną, pełną dojrzałość fizjologiczną, mały udział ziaren połamanych i popękanych oraz wyrównanie wielkości, zdrowotności i zabarwienia.

Podstawowym kryterium różnicującym wydajność i jakość grysu jest budowa morfologiczna i anatomiczna ziarna. Za najbardziej przydatne do produkcji grysu uważa się odmiany o szklistym i okrągłym ziarnie, pochodzącym z kukurydzy zwyczajnej. Jakość grysu ma szczególne znaczenie w produkcji płatków kukurydzianych. Jego wydajność zależy od wykształcenia bielma, które właściwą budowę uzyskuje dopiero po przekroczeniu dojrzałości fizjologicznej. Ważny wpływ mają także warunki klimatyczne w okresie dojrzewania kukurydzy. Dlatego odmiany wczesne dają w warunkach europejskich zawsze surowiec lepszy jakościowo niż odmiany średnio wczesne, a zwłaszcza średnio późne.

Jak wykazały dotychczasowe badania, inne czynniki agrotechniczne, oprócz odmian, takie jak gleba, stanowisko, termin siewu czy nawożenie, decydują przede wszystkim o wielkości plonu, natomiast na jakość przemiału wywierają mniejszy wpływ. Uprawa odmian wczesnych pozwala zbierać ziarno bardziej dojrzałe, o mniejszej zawartości wody, co przyspiesza także suszenie i zmniejsza koszty jego produkcji. Ziarno do przerobu młynarskiego powinno być suszone podobnie jak ziarno siewne, tj. ze zróżnicowaną temperaturą czynnika suszącego, nie przekraczającą 90°C, oraz wielokrotnym jego chłodzeniem. Zbyt wysoka temperatura suszenia powoduje nie tylko pękanie ziarna, ale przede wszystkim zanieczyszczenie bielma tłuszczem z zarodka, co znacznie ogranicza trwałość i przydatność grysu [1, 2].

W przerobie młynarskim z ziarna kukurydzy można oprócz grysu uzyskać mąkę, którą wykorzystuje się jako dodatek do pieczywa dietetycznego, oraz zarodki i otręby, przeznaczone na cele spożywcze dla ludzi i zwierząt (tab. 2).

Tabela 2. Sposoby wykorzystania ziarna kukurydzy na różne cele przemysłowe

Rodzaj produkcji	Nazwa półproduktu	Wykorzystanie
Produkcja skrobi	Skrobia przemysłowa	Kleje, włókiennictwo, papiernictwo, chemia
	Skrobia spożywcza	Piwo, piekarnictwo, ciastkarstwo, wędliny, żywność
	Skrobia uszlachetniona	Zupy, sosy, odżywki dla dzieci, gastronomia
	Skrobia modyfikowana chemicznie	Papiernictwo, włókno szklane i sztuczne dekstryny,
	Skrobia hydrolizowana (syrop, glukoza, sorbital)	Piwo, piekarnictwo, farmacja, żywice, chemia
Produkcja młynarska	Grys (kasza)	Płatki, olej, otręby, gastronomia, piwo
	Gluten (zeina)	Produkty farmaceutyczne, lakiery, włókno szklane i sztuczne
	Otręby	Pasza, mieszanki paszowe
	Kiełki (zarodki)	Kosmetyki, tłuszcze jadalne, gastronomia
Produkcja alkoholu	Spirytus	Przemysł farmaceutyczny, monopolowy
	Bioetanol	Biopaliwo, przemysł motoryzacyjny
	Wywar	Pasza, mieszanki paszowe

Produkcja biopaliwa z ziarna kukurydzy

Ziarno kukurydzy jest doskonałym surowcem do produkcji biopaliwa. Jest nim odwodniony alkohol etylowy otrzymywany w drodze fermentacji skrobi lub innych węglowodanów, zwany bioetanolem oraz ester etylo-tert-butyłowy (pol. nazwa EETB, ang. ETBE), uzyskiwany z etanolu. Z jednej tony ziarna kukurydzy można uzyskać około 400 l etanolu, co przy plonie 8 t z ha pozwala otrzymać ponad 3000 l biopaliwa. Wartość ta odpowiada ekwiwalentowi benzyny wynoszącemu około 2000 l [5].

Podczas produkcji etanolu fermentacji alkoholowej poddawana jest tylko podstawowa część ziarniaka kukurydzy, czyli bielmo. Pozostałe części, tj. zarodek i okrywa owocowo-nasienna są źródłem wysokiej jakości oleju, glutenu paszowego, fruktozy i białka. Resztki pozostające po oddzieleniu bielma, wytłoczeniu oleju i destylacji etanolu z pulpy kukurydzianej są suszone i stanowią wartościowy dodatek do pasz (tab. 3). Etanol wyprodukowany z kukurydzy może być wykorzystany do wstępnej ekstrakcji zeiny ze zmielonego ziarna. Jest to białko chętnie wykorzystywane w przemyśle cukierniczym i farmaceutycznym.

Tabela 3. Wartość użytkowa 100 kg ziarna kukurydzy [6]

Produkcja skrobi		Produkcja młynarska		Produkcja alkoholu	
Półprodukt	Ilość, kg	Półprodukt	Ilość, kg	Półprodukt	Ilość, l
Skrobia	63	Grys	55	Etanol	41
Gluten	5	Mąka	25	Wywar	37
Olej	3	Zarodki	13		
Wysłodziny	20	Otręby	15		
Makuch	4				

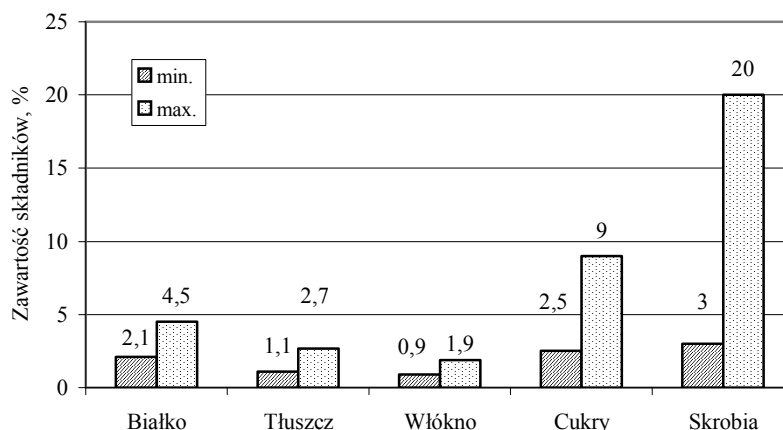
Głównymi producentami etanolu przemysłowego są gorzelnie, które jako surowce stosują ziarniaki lub ziarno zbóż. Nie są to jednak najwydajniejsze źródła węglowodanów do fermentacji alkoholowej. Ponadto przy przetwarzaniu ziemniaków powstają odpady, które silnie zanieczyszczają środowisko i należy je utylizować. Natomiast odpady powstałe po fermentacji ziarna kukurydzy można w całości zagospodarować i nie stanowią one zagrożenia ekologicznego. Za przerobem ziarna kukurydzy na etanol przemawia także rosnący areal uprawy oraz systematyczny wzrost plonów, nawet w mniej korzystnych warunkach klimatycznych i glebowych. Do produkcji etanolu można wykorzystać również ziarno, które nie nadaje się na paszę, tj. zainfekowane grzybami, popękane, niedojrzałe czy wilgotne. Dzięki temu efektywność energetyczna i ekonomiczna przetwarzania ziarna kukurydzy na etanol może ulec znacznej poprawie.

Inne kierunki wykorzystania kukurydzy

Coraz większym zainteresowaniem wśród producentów i konsumentów cieszy się kukurydza cukrowa (rys. 1). Zakonserwowane w puszkach ziarno zdoby-

ło rynek w przetwórstwie owocowo-warzywnym i żywieniu człowieka. Duże walory smakowe, jak i odżywcze kukurydzy cukrowej, przydatność w wielu rodzajach potraw oraz możliwość uprawy i produkcji pełnowartościowego surowca spożywczego (także w mniej korzystnych warunkach klimatyczno-glebowych) sprawiają, że powinna ona być coraz bardziej popularnym warzywem, spożywanym przez cały rok. Kukurydza cukrowa może być konsumowana w miesiącach letnich w postaci świeżych kolb, a w pozostałych – w postaci konserwowanej w puszkach lub mrożonej z innymi warzywami [7, 8, 9].

Kukurydzę cukrową można spożywać na surowo lub po ugotowaniu. Do spożywania na surowo najlepsze są ziarniaki zbierane we wczesnej fazie dojrzałości mlecznej, przy zawartości suchej masy wynoszącej około 24%. Przy zbyt późnym opóźnieniu zbioru ziarniaki zaczynają twardnieć, maleje zawartość cukrów, a zwłaszcza sacharozy, która decyduje o słodkim smaku ziarna. Jako surowiec dla przemysłu przetwórczego kukurydzę cukrową zbiera się w stadium dojrzałości późnomlecznej, przy zawartości suchej masy 24-28%. Dojrzałe ziarno kukurydzy cukrowej można przerobić na kaszę i mąkę. Przez pozbawienie ziarniaków okrywy owocowo-nasiennej i zarodków uzyskuje się produkt o nazwie gomini. Mąka kukurydziana z domieszką mąki pszennej nadaje się do wypieku niektórych gatunków chleba i słodkich ciast.



Rys. 1. Zawartość składników pokarmowych w ziarnie kukurydzy cukrowej [9]

Ziarno kukurydzy pękającej jest także popularnym produktem w wielu krajach. Jednak możliwości jej uprawy są jak dotąd małe, ze względu na ograniczenia klimatyczne oraz brak odpowiednich odmian. Ziarniaki kukurydzy pękającej mają bielmo szkliste i zawierają więcej białka niż ziarniaki innych podgatunków. W czasie prażenia woda zawarta w bielmie mączystym zamienia się w parę i powodując rozerwanie ziarniaka, wydostaje się na zewnątrz w postaci gąbczastej masy. W tej formie kukurydza jest spożywana pod nazwą pop-corn. W zależności od kształtu ziarniaków wyróżnia się kukurydzę pękającą perłową (o zaokrąglonym wierzchołku) oraz ryżową (o ostro zakończonym wierzchołku).

Podsumowanie

Możliwości przemysłowego wykorzystania ziarna kukurydzy pozwalają na szeroką uprawę tej rośliny w wielu krajach. Zapotrzebowanie na skrobię wzrasta zarówno w przemyśle spożywczym, papierniczym, jak i chemicznym. Ziarno kukurydzy jest obok ziarna zbóż i ziemniaków najważniejszym źródłem tego półproduktu. Przerób kukurydzy w krochmalniach jest jednak tańszy i w znacznie mniejszym stopniu zagraża środowisku naturalnemu w porównaniu z przetwórstwem roślin konkurencyjnych, a zwłaszcza szerzej uprawianych ziemniaków.

Produkty przemiału ziarna kukurydzy (grys, kaszka, mąka) są niezbędne w przemyśle spożywczym, m.in. do produkcji płatków, chrupków i produktów bezglutenowych. Natomiast produkty uboczne, takie jak otręby, makuchy, wysłodziny stanowią cenną paszę w żywieniu zwierząt. Istnieją duże możliwości wykorzystania ziarna kukurydzy do fermentacji alkoholowej i produkcji biopaliw. Wprowadzenie na szerszą skalę etanolu jako dodatku do paliw silnikowych jest wskazane ze względów ekologicznych i w pełni technicznie możliwe. Kukurydza jest obecnie najbardziej efektywnym pod względem energetycznym i wydajności produktu z jednostki plonu źródłem surowca do produkcji etanolu.

W najbliższej przyszłości duże znaczenie dla przemysłu mogą mieć mało jeszcze dziś rozpowszechnione podgatunki kukurydzy takie jak kukurydza skrobiowa i woskowa, a także coraz bardziej popularna kukurydza cukrowa.

Piśmiennictwo

1. Carre M. A.: Le mais francais a conquis nos industriels. *Cultivar*, 369, 30-31, 1994.
2. Gerstenkorn P., Lindhauer M. G.: Deutscher kornmais in den industriellen Verarbeitung. *Mais*, 23 (1), 20-23, 1995.
3. Jesch P.: Der Starkemarkt als Konjunkturbarometer. *Mais*, 22(1), 34-35, 1994.
4. Lindhauer M. G.: Bietet die Industrie perspektiven für die Maisstarke? *Mais*, 24(1), 28-29, 1996.
5. Lipski S.: Ekopaliwo z kukurydzy. *Kukurydza*, 2(20), 25-27, 2002.
6. Michalski T.: Kukurydza jako surowiec dla przemysłu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 450, 201-217, 1997.
7. Niedziółka I., Szymanek M.: Ocena technologii produkcji kolb kukurydzy cukrowej. *Inż. Rol.*, 9(29), 193-200, 2001.
8. Tkaczew R. J.: Konserwowanie sacharnej kukuruzy. *Izol. Piszcz. Prom.*, Moskwa, 1996.
9. Waligóra H., Dubas A., Swulińska-Katulska A.: *Kukurydza cukrowa*. Wyd. Multum, Poznań, 1998.
10. Watson S. A., Ramstad P. E.: *Corn-chemistry and technology*. Am. Assoc. of Cereal Chem., Inc. St. Paul, Minnesota, 1994.

Streszczenie

W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania ziarna kukurydzy jako surowca przemysłowego. Szersze stosowanie kukurydzy uprawianej w krajach o mniej korzystnych warunkach klimatycznych i glebowych do produkcji skrobi wymaga wprowadzenia nowych odmian, poprawy metod zbioru i suszenia dużych, jednolitych partii ziarna.

Istnieją duże możliwości wykorzystania ziarna kukurydzy w przemyśle młynarskim do produkcji kasz i płatków oraz w spirytusowym jako surowca do produkcji alkoholu, zwłaszcza dla celów paliwowych i energetycznych.

Coraz większe znaczenie dla przemysłu mogą mieć takie podgatunki kukurydzy, jak kukurydza skrobiowa i woskowa oraz dość popularna kukurydza cukrowa.

Summary

In work, possibilities of utilization of maize grain as of industrial raw material were presented. Wider usage of maize tilled in countries about less favourable soil and climatical conditions to starch production starch will demand introductions new varieties, improvements of methods of harvesting and drying large, of equal party of grain.

Large possibilities of utilization of maize grain exist in miller's industry to production of cereals and of flakes and in spirit as of raw material to production alcohol, especially for fuel and energetic purposes.

More and more greater meaning for industry can have such sub-specieses of maize as: starch and waxy maize and enough popular already sweet maize.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Dreszer