

OCENA ENERGETYCZNA PROCESU SUSZENIA ZIARNA PASZOWEGO KUKURYDZY

I. Niedziółka

Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, AR w Lublinie
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin
e-mail: ignied@hortus.ar.lublin.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono ocenę energetyczną procesu suszenia ziarna paszowego kukurydzy. Badania prowadzono w gospodarstwie rodzinnym położonym w woj. lubelskim. Wilgotność zbieranego ziarna kukurydzy wahała się w granicach 29,7-31,4%. Do suszenia wilgotnego ziarna kukurydzy stosowano suszarkę komorową o działaniu porcjowym. Pojemność suszarki wynosiła 9 t ziarna, natomiast jej wydajność wahała się w granicach 0,5-0,6 t·h⁻¹. Wskaźnik energochłonności procesu suszenia ziarna kukurydzy wynosił 2,1-2,5 GJ·t⁻¹.

Słowa kluczowe: kukurydza, ziarno paszowe, suszenie, nakłady energetyczne

WSTĘP

O energochłonności i opłacalności produkcji ziarna kukurydzy decyduje nie tylko wielkość plonu, ale także jakość uzyskanego ziarna. Największe wymagania jakościowe stawiane są przed ziarnem siewnym i konsumpcyjnym. Również ziarno paszowe powinno być prawidłowo wysuszone i przechowywane. Dotyczy to szczególnie ziarna kukurydzy, które w naszych warunkach klimatycznych jest zbierane o wilgotności dochodzącej do 35% [2, 6].

Do dłuższego magazynowania przydatne jest ziarno o wilgotności wynoszącej 13-14%. W związku z tym zebrane i wilgotne ziarno kukurydzy poddawane jest procesowi suszenia w suszarkach o działaniu ciągłym lub porcjowym [8,12]. Ponadto złożona budowa morfologiczna ziarna kukurydzy oraz niekorzystny stosunek masy ziarna do jego powierzchni i duża wilgotność w czasie zbioru

powodują, że procesom konwekcyjnego suszenia poświęca się wiele badań [1,4,9]. Z szeregu prac wynika, że przy wilgotności ziarna kukurydzy dochodzącej do 35% i więcej zalecane są co najmniej dwa etapy suszenia, w których stosuje się różne temperatury czynnika suszącego. W pierwszym etapie temperatura podgrzanego powietrza powinna być niższa i nie przekraczać 50°C, a w następnych etapach może dochodzić do 70°C. Związane jest to z małą szybkością dyfuzji cząstek wody z wnętrza ziarna do jego powierzchni zewnętrznej [3,7,10].

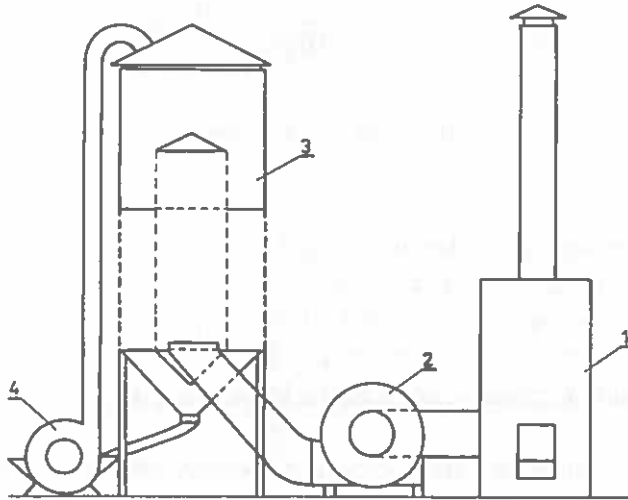
Ze względu na wysoką wilgotność ziarna kukurydzy oraz niekorzystne warunki atmosferyczne panujące w czasie jego zbioru, stosuje się najczęściej metodę suszenia konwekcyjnego. Pozwala ona na suszenie ziarna kukurydzy powietrzem ogrzany do odpowiedniej temperatury, zależnej od jego wilgotności i etapu suszenia. Stosowanie wysokich temperatur suszenia ziarna wymaga dostarczenia zimnego strumienia powietrza w celu jego schłodzenia. W związku z tym metoda ta wymaga znacznych nakładów energii na odparowanie wody zawartej w suszonym ziarnie. Również zbyt wysokie temperatury czynnika suszącego mogą doprowadzić do uszkodzenia ziarna podczas suszenia. Dotyczy to głównie suszarek o działaniu porcjowym, w których brak jest często mieszania i chłodzenia ziarna [1,10].

MATERIAŁ I METODY

Ze względu na warunki klimatyczne i glebowe badanego gospodarstwa (gleby III i IVa klasy) do uprawy przeznaczano średnio wczesne mieszańce kukurydzy, tj. Mieszko i Oleńka o klasie wczesności FAO 220-230. Wpłynęło to na wydłużenie czasu zbioru ziarna kukurydzy dzięki zróżnicowanym okresom agrotechnicznym odmian, a także uzyskanie wyższych plonów przy niższej zawartości s.m.

Zebrane i wymłócone ziarno kukurydzy opróżniano z kombajnu Bizon Super Z056 na środki transportowe i dowożono do gospodarstwa. Do transportu używano przyczep wywrotek o ładowności 4,5-6 t oraz ciągnika Zetor 7211. Wilgotne ziarno rozładowywano bezpośrednio z przyczepy do kosza zasypowego, skąd przenośnikiem ślimakowym, a następnie pneumatycznym transportowano do komory suszącej suszarki (rys. 1). Pojemność suszarki komorowej wynosiła około 9 t ziarna. Do podgrzewania czynnika suszącego stosowany był piec grzewczy z wymiennikiem ciepła na paliwo stałe (węgiel kamienny). Wartość opałową węgla kamiennego oznaczano metodą kalorymetryczną przy wykorzystaniu kalorymetru typu KL-3. Wynosiła ona około 22,4 MJ kg⁻¹ stosowanego paliwa. Tłoczenie gorącego powietrza odbywało się przy użyciu wentylatora promieniowego, napędzanego silnikiem elektrycznym o mocy 2,2 kW. W czasie suszenia ziarno kukurydzy było mieszane

przenośnikiem pneumatycznym, wyposażonym w silnik elektryczny o mocy 4,5 kW (tab.1). Po uzyskaniu wilgotności ziarna w granicach 13-14%, ładowano je przenośnikiem ślimakowym na przyczepę i przewożono do magazynu.



Rys. 1. Schemat suszarki komorowej stosowanej do suszenia ziarna paszowego kukurydzy: 1 – piec grzewczy, 2 – wentylator promieniowy, 3 – komora suszenia, 4 – przenośnik pneumatyczny.

Fig. 1. The scheme of chamber dryer used to drying of maize feed grain: 1 – heating stove, 2 – centrifugal fan, 3 – drying chamber, 4 – pneumatic conveyor.

Tabela 1. Dane techniczno-eksploatacyjne suszarki stosowanej do suszenia ziarna kukurydzy

Table 1. The technical and exploitation data of dryer used to drying of maize grain

Lp.	Wyszczególnienie	Jedn. miary	Dane
1.	Pojemność suszarki	m ³	12,0
2.	Ładowność suszarki	t	9,0
3.	Moc pieca grzewczego	kW	70,0
4.	Typ wentylatora	-	FK-40
5.	Wydatek wentylatora	m ³ h ⁻¹	7200
6.	Moc silnika wentylatora	kW	2,2
7.	Moc silnika transportera ziarna	kW	4,5
8.	Wymiary suszarki:		
-	średnica	m	2,5
-	wysokość	m	6,0

W celu obliczenia wielkości masy suszonego ziarna kukurydzy, a tym samym ubytku wody w czasie jego suszenia posłużono się wzorami (1) i (2):

$$M_s = M_w \left(1 - \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} \right) \text{ [kg]} \quad (1)$$

$$W_u = M_w - M_s \text{ [kg]} \quad (2)$$

gdzie:

M_s – masa suszonego ziarna kukurydzy [kg],

M_w – masa wilgotnego ziarna kukurydzy [kg],

w_1 – wilgotność początkowa ziarna kukurydzy [%],

w_2 – wilgotność końcowa ziarna kukurydzy [%],

W_u – ubytek wody w czasie suszenia ziarna kukurydzy [kg].

Do analizy nakładów energetycznych ponoszonych na suszenie ziarna kukurydzy zastosowano metodę rachunku ciągnionego, a łączne nakłady energii skumulowanej obliczano według wzoru (3):

$$N_c = N_e + N_i + N_p \text{ [GJ}\cdot\text{t}^{-1}] \quad (3)$$

gdzie:

N_c – łączne nakłady energii skumulowanej [GJ·t⁻¹],

N_e – nakłady energetyczne zawarte w bezpośrednich nośnikach energii [GJ·t⁻¹],

N_i – nakłady energetyczne uprzedmiotowione w środkach inwestycyjnych [GJ·t⁻¹],

N_p – nakłady energetyczne uprzedmiotowione w pracy żywej [GJ·t⁻¹].

W obliczeniach nakładów związanych ze zużyciem bezpośrednich nośników energii korzystano z metodyki badań IBMER [5, 11], stosując odpowiednie wskaźniki: 52 MJ·kg⁻¹ dla paliwa ciekłego i smarów, 27 MJ·kg⁻¹ dla węgla kamiennego oraz 10 MJ·kWh⁻¹ w przypadku energii elektrycznej. Nakłady energetyczne dotyczące użytych maszyn i urządzeń obliczano stosując wskaźnik wynoszący 112 MJ·kg⁻¹ sprzętu, a dla budynków – 100 MJ·m⁻² rocznego ich zużycia. Natomiast dla części wymiennych wskaźnik ten wynosił 80 MJ·kg⁻¹, a dla materiałów zużytych do napraw 30 MJ·kg⁻¹. Wskaźnik nakładów energetycznych dla siły roboczej przyjęto na poziomie 40 MJ·rbh⁻¹.

WYNIKI I DYSKUSJA

Badania dotyczące przebiegu procesu suszenia ziarna kukurydzy realizowano w gospodarstwie rodzinnym zajmującym się jego produkcją i położonym na terenie woj. lubelskiego. Powierzchnia uprawy kukurydzy na ziarno w tym gospodarstwie wynosiła 12,5 ha.

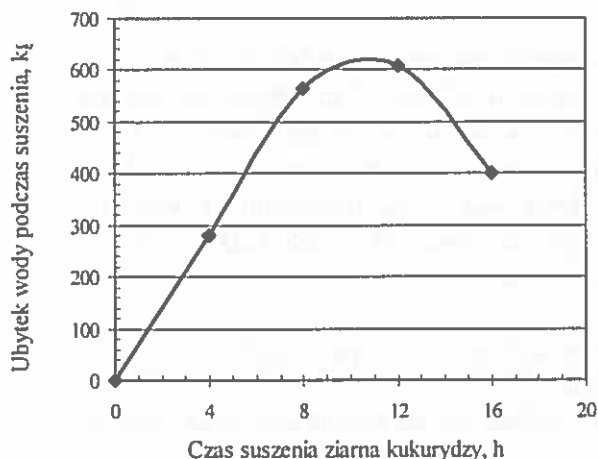
W tabeli 2 zamieszczono wyniki badań eksploatacyjnych uzyskane podczas zbioru i suszenia ziarna kukurydzy. Plon wilgotnego ziarna kukurydzy zależał od warunków glebowych i wahał się w granicach 7,1 do 9,0 t·ha⁻¹. Przeciętna wilgotność zbieranego ziarna zawierała się w przedziale 29,7-31,4%. Ze względu na dużą wilgotność ziarna oraz niskie temperatury i wysoką wilgotność względną powietrza, występujące w czasie zbioru kukurydzy, proces suszenia trwał 14-16 h dla jednego zasypu ziarna.

Tabela 2. Wyniki badań eksploatacyjnych uzyskane podczas zbioru i suszenia ziarna kukurydzy w gospodarstwie rodzinnym

Table 2. The results of exploitation investigations obtained during harvesting and drying of maize grain in family farm

Lp.	Wyszczególnienie	Jedn. miary	Wyniki badań
1.	Plon wilgotnego ziarna kukurydzy	t ha ⁻¹	7,1-9,0
2.	Plon suchego ziarna kukurydzy	t ha ⁻¹	5,8-7,2
3.	Wilgotność początkowa ziarna	%	29,7-31,4
4.	Wilgotność końcowa ziarna	%	13,2-13,6
5.	Temperatura powietrza	°C	5,8-10,5
6.	Wilgotność względna powietrza	%	72,4-76,6
7.	Temperatura czynnika suszącego	°C	55,5-60,5
8.	Masa wilgotnego ziarna kukurydzy	t	8,5-9,0
9.	Czas suszenia jednego zasypu	h	14,0-16,0
10.	Wydajność efektywna suszarki	t h ⁻¹	0,5-0,6
11.	Szybkość suszenia ziarna	kg H ₂ O h ⁻¹	101,4-115,9
12.	Zużycie węgla kamiennego	kg t ⁻¹	29,6-33,5
13.	Zużycie energii cieplnej	MJ kg H ₂ O ⁻¹	3,49-3,64
14.	Zużycie energii elektrycznej	kWh kg H ₂ O ⁻¹	0,24-0,25
15.	Nakłady energii mechanicznej	kWh t ⁻¹	15,6-18,8
16.	Nakłady energii skumulowanej	GJ t ⁻¹	2,1-2,5
17.	Nakłady robocizny	rbh t ⁻¹	2,6-3,1

Czynniki te miały duży wpływ na przebieg procesu suszenia ziarna kukurydzy, przedstawiony na rysunku 2. Szybkość suszenia ziarna w badanej suszarce wynosiła od 101,4 do 115,9 kg H₂O h⁻¹.



Rys. 2. Przebieg procesu suszenia ziarna paszowego kukurydzy w suszarce komorowej.

Fig. 2. The course of drying process of maize feed grain in a chamber dryer.

Z analizy energochłonności procesu suszenia wynika, że zużycie węgla kamiennego wynosiło 29,6-33,5 kg t⁻¹ wilgotnego ziarna kukurydzy, natomiast zużycie energii cieplnej (w przeliczeniu na jednostkę odparowanej wody) zawierało się w przedziale 3,49-3,64 MJ kg H₂O⁻¹. Zużycie energii elektrycznej podczas suszenia ziarna wynosiło 0,24-0,25 kWh kg H₂O⁻¹. Na wielkość tego zużycia duży wpływ miało zastosowanie przenośnika pneumatycznego do załadunku suszarki ziarnem oraz jego mieszania podczas suszenia. Nakłady energii mechanicznej związanej z transportem i rozładunkiem ziarna kukurydzy kształtowały się na poziomie 15,6-18,8 kWh t⁻¹, natomiast nakłady energii skumulowanej w przedziale 2,1-2,5 GJ t⁻¹. Z kolei nakłady robocizny związane z obsługą pieca grzewczego i suszarki wynosiły 2,6-3,1 rbh t⁻¹ suszonego ziarna.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowanie suszarki komorowej w małych i średnich gospodarstwach rodzinnych pozwala na wysuszenie około 9 t ziarna kukurydzy w ciągu doby. W związku z tym może ona być przydatna w gospodarstwach zbierających kukurydzę na ziarno z powierzchni 5-15 ha.

PODSUMOWANIE

W przypadku gospodarstw uprawiających kukurydzę na suche ziarno paszowe nadal dużym problemem pozostaje suszenie wilgotnego ziarna. Wymaga ono ponoszenia znacznych nakładów energetycznych i robocizny. Powoduje także wydłużenie czasu zbioru w przypadku stosowania suszarek o niskiej wydajności oraz może przyczynić się do wzrostu strat plonu ziarna w związku z niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi w okresie jesiennym.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że w przypadku suszarki komorowej szybkość suszenia ziarna kukurydzy o wilgotności 29,7-31,4% wynosiła 101,4-115,9 kg H₂O·h⁻¹, natomiast jej wydajność zawierała się w granicach 0,5-0,6 th⁻¹. Pozwoliło to na wysuszenie w ciągu doby, ziarna kukurydzy zebranego z powierzchni 1,0-1,5 ha. Zużycie energii cieplnej mieściło się w przedziale 3,49-3,64 MJ kg H₂O⁻¹, a wielkość nakładów energii skumulowanej kształtowała się na poziomie 2,1-2,5 GJ t⁻¹ i robocizny – 2,6-3,1 rbh t⁻¹ suszonego ziarna.

W związku z tym, że badana suszarka wyposażona była w piec grzewczy na paliwo stałe oraz przenośnik pneumatyczny do załadunku i mieszania ziarna kukurydzy, wymagała stosunkowo dużych nakładów energetycznych i robocizny. W tej sytuacji wskazane byłoby przeprowadzenie badań z zastosowaniem wymiennika ciepła na paliwo ciekłe lub gazowe oraz użyciem przenośnika kubelkowego do transportu ziarna. Pozwoliłoby to na wprowadzenie automatyzacji oraz pełnej kontroli przebiegu procesu suszenia ziarna kukurydzy, a tym samym na zmniejszenie nakładów robocizny i energetycznych.

Ze względu na rosnące zainteresowanie rolników i hodowców drobiu suchym ziarnem kukurydzy oraz istniejącą możliwość zwiększenia areалу uprawy tej rośliny w Polsce, zachodzi konieczność doskonalenia stosowanych rozwiązań technicznych i technologicznych dotyczących głównie zbioru i suszenia wilgotnego ziarna. W tym celu należałoby dążyć do opracowania energooszczędnych i łatwych w obsłudze suszarek do kukurydzy, dostosowanych do potrzeb średnich gospodarstw rolnych o powierzchni do 50 ha.

PIŚMIENNICTWO

1. Biłowski J.: Niektóre aspekty suszenia ziarna gorącym powietrzem. Postępy Nauk Rolniczych, 1/2, 35-61, 1990.
2. Gieroba J., Niedziółka I.: Problemy zbioru i suszenia ziarna kukurydzy w gospodarstwach rodzinnych. Przegląd Tech. Rol. i Leśnej, 11, 6-8, 1997.

3. Juchniewicz M., i in.: Porównanie kosztów produkcji CCM i suszenia ziarna kukurydzy. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst., 29, 17-27, 1994.
4. Judak E.: Questions of corn drying dynamics with tower dryers. Hung. Agric. Engng, 7, 42-44, 1994.
5. Kijowska W.: Metodyka badań energochłonności skumulowanej eksploatacji maszyn rolniczych i nakładów materiałowo-energetycznych. Wyd. IBMER Warszawa, XXXI/228, 1986.
6. Kisiel R., Kaliszewicz D.: Energochłonność produkcji kukurydzy przeznaczonej na CCM i ziarno. Acta Acad. Agricult. Tech. Olst., 30, 87-94, 1994.
7. Niedziółka I.: Analiza energetyczno-ekonomiczna technologii produkcji ziarna kukurydzy. Inż. Rol., 4, 89-95, 1999.
8. Pabis S., Pabis J.: Technologia suszenia i czyszczenia nasion. PWRiL Warszawa, 1984.
9. Parti M., Dugmanics J.: Diffusion coefficient for corn drying. Trans. ASAE, 33(5), 1652-1656, 1990.
10. Polak T.: Czym wydajnie wysuszyć? Top Agrar Polska, 5, 124-128, 1999.
11. Wójcicki Z., i in.: Wskaźniki energochłonności niektórych produktów rolniczych. Wyd. IBMER Warszawa, XXXI/21, 1979.
12. Zscheischler J., u.a.: Handbuch Mais: umweltgerechter Anbau – wirtschaftliche Verwertung. DLG-Verlag Frankfurt am Main, 1990.

ENERGETIC ESTIMATION OF DRYING PROCESS OF MAIZE FEED GRAIN

I. Niedziółka

Department of Agricultural Machinery, Agricultural University

Głęboka 28, 20-612 Lublin

e-mail: ignied@hortus.ar.lublin.pl

S u m m a r y: In the paper an energetic estimation of drying process of maize feed grain in family farm was presented. The investigations was carried in family farm which was placed in Lublin voivodeship. The humidity of maize grain gathered fluctuated within the limits of 29,7-31,4%. Chamber dryer for portion working was used during wet maize grain drying. Volume of dryer amounted to 9 t of grain and its capacity fluctuated within the limits of 0,5-0,6 t·h⁻¹. The energy consumption ratio of maize grain drying process amounted to 2,1-2,5 GJ·t⁻¹.

K e y w o r d s: maize, feed grain, drying, energetic inputs