

BEZPIECZNE PRZECHOWYWANIE ZIARNA – STUDIUM ZAGADNIENIA

Agnieszka Kaleta, Krzysztof Górnicki

Katedra Podstaw Inżynierii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W pracy omówiono zagadnienia związane z bezpiecznym przechowywaniem ziarna. Wykazano, że mimo iż badania przechowywania ziarna prowadzi się od wielu lat, w dalszym ciągu brakuje wytycznych, jakie zabiegi pielęgnacyjne korzystnie jest stosować dla konkretnych parametrów ziarna i powietrza atmosferycznego.

Słowa kluczowe: przechowywanie ziarna, ziarno, jakość

Wprowadzenie

Powszechnie wykorzystywany obecnie zbiór kombajnem zbożowym umożliwia opóźnienie żniw i zebranie ziarna o dojrzałości rogowej lub pełnej, a więc ziarna dojrzałego i suchego, bez ponoszenia większych strat spowodowanych osypywaniem się ziarna. W rzeczywistości średnia wilgotność tak zebranego ziarna może być dużo większa, a w niektórych partiach ziarna bezpośrednio po zbiorze wilgotność pojedynczych ziarniaków, tych niedojrzałych, może wynosić powyżej 30%. Ta nierównomierność wilgotności poszczególnych ziarniaków może stać się przyczyną procesów samozagrzewania nawet wtedy, gdy ziarno uznawane jest za suche. Uważa się, iż najmniejsze straty ponoszone są, gdy ziarno podczas zbioru ma wilgotność nie większą niż 18% [Ryniecki i Szymański 1999].

Ziarno zebrane kombajnem zbożowym cechuje się tym, iż posiada stosunkowo wysoką temperaturę, często powyżej 30°C, oraz jest zanieczyszczone zielonymi częściami roślin, słomy i nasionami chwastów, charakteryzującymi się wyższą wilgotnością od samego ziarna. W polskich warunkach klimatycznych około 40% ziarna wymaga suszenia po zbiorze [Feder i in. 1994].

Ziarno jest żywym organizmem, w którym przebiegają procesy życiowe związane z przemianą materii, których intensywność zależy od wilgotności i temperatury. Najważniejszym procesem życiowym jest oddychanie. W wilgotnym ziarnie wywołuje ono rozkład substancji zapasowych, zwłaszcza skrobi, na cukry proste oraz dwutlenek węgla, wodę, przy równoczesnym wytwarzaniu energii cieplnej. Powoduje to wzrost temperatury i wilgotności ziarna. W konsekwencji dochodzi do ubytku masy ziarna oraz rozwoju drobnoustrojów, bakterii i pleśni. Prowadzi to nie tylko do zmiany zapachu ziarna czy zmniejszenia siły kiełkowania, ale ziarna takiego nie można już wykorzystać zarówno w przemyśle młynarskim jak i paszowym, gdyż zawiera ono szkodliwe dla zdrowia mikotoksyny.

Zmniejszenie temperatury i wilgotności ziarna wstrzymuje dalsze procesy niszczące jego wartość użytkową, ale straty ilościowe i jakościowe powstałe podczas zagrzewania są już nieodwracalne.

Ziarno może być przechowywane w silosach metalowych z promieniowym i pionowym przepływem powietrza. Są to zbiorniki w kształcie walca lub wieloboku, o wysokości większej od średnicy lub innego wymiaru liniowego, charakteryzującego wielkość podstawy. Zboże składowane jest również w magazynach płaskich.

Procesami stosowanymi w celu ograniczenia strat ziarna podczas jego przechowywania są suszenie i aktywne wietrzenie ziarna. W pracy zostaną omówione najważniejsze zagadnienia związane z bezpiecznym przechowywaniem ziarna.

Metody pielęgnacji ziarna

Czyszczenie ziarna

Czyszczenie ziarna, prócz usunięcia zanieczyszczeń, powoduje w ziarnie bezpośrednio po wymłóceniu dodatkowo zmniejszenie jego średniej wilgotności poprzez usunięcie zielonych cząstek kłosów, łodyg czy wilgotnych nasion chwastów. Usunięcie tych zanieczyszczeń, przy bardzo małych nakładach energetycznych, może zmniejszyć wilgotność masy ziarna nawet o kilka procent. Poza tym zanieczyszczenia te są niebezpieczne, gdyż mogą być przyczyną zapychania się urządzeń transportujących czy suszących.

Aktywna wentylacja ziarna

Aktywna wentylacja polega na wymuszeniu przepływu powietrza przez przestrzenie międzyziarnowe w celu poprawienia warunków wymiany ciepła i pary wodnej między ziarnem i powietrzem podczas przechowywania. Schładzanie ziarna jest rezultatem odparowywania wilgoci z powierzchni każdego ziarniaka i/lub przepływu powietrza atmosferycznego o temperaturze niższej od temperatury ziarna.

W przypadku aktywnego wietrzenia występuje niebezpieczeństwo nawilżania ziarna. Wilgotność względna powietrza przechodzącego przez warstwy ziarna nie może być wyższa od wilgotności równowagowej ziarno-powietrze. Wilgotność równowagowa zależy od aktualnej wilgotności i temperatury powietrza, temperatury ziarna oraz od jego wewnętrznej budowy. Nawet w latach suchych występują okresy (noce, opady atmosferyczne), kiedy wilgotność otoczenia jest większa niż krytyczna wilgotność równowagowa. W czasie przedmuchiwania powietrza o temperaturze wyższej niż temperatura ziarna o wilgotności bliskiej równowagowej dochodzi do ochłodzenia tego powietrza w warstwie ziarna, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu wilgotności względnej powietrza do poziomu większego niż równowagowa. Tak więc aktywna wentylacja może powodować sprawne obniżanie wilgotności ziarna wtedy, gdy występuje znaczna różnica wilgotności przepływającego powietrza i równowagowej.

Przewietrzanie ziarna przeprowadza się często bezpośrednio po jego zbiorze, kiedy ziarno w wyniku intensywnego oddychania wydziela ciepło i wilgoć, a w masie składowanego ziarna wzrasta temperatura i wilgotność. Zabiegowi temu sprzyja spadek temperatury powietrza w czasie nocy, gdy temperatura powietrza jest dużo niższa niż temperatura ziarna. W takich warunkach niebezpieczeństwo nawilżenia ziarna jest znikome.

Suszenie ziarna

Proces cieplny polegający na uwalnianiu przez odparowanie wody zawartej w materiałach stałych lub roztworów nazywa się suszeniem.

Suszenie naturalne jest procesem samoczynnego przechodzenia pary wodnej z materiału suszonego do powietrza kosztem ciepła otoczenia. Suszenie sztuczne natomiast polega na przyspieszeniu procesu poprzez dostarczenie większej ilości ciepła do odparowania wody i odprowadzenie wytworzonej pary wodnej za pomocą strumienia gazowego – czynnika suszącego. W urządzeniach suszących – suszarkach konwekcyjnych, rolę czynnika suszącego pełni podgrzane wcześniej w urządzeniu grzejnym powietrze.

Suszenie niskotemperaturowe, podobnie jak przewietrzanie, jest metodą suszenia przez mechaniczne wietrzenie grubej nieruchomej warstwy ziarna. W procesie tym wykorzystywany jest potencjał suszący powietrza atmosferycznego. Czasami powietrze to ogrzewa się o kilka stopni Celsjusza. Suszenie niskotemperaturowe jest procesem dość długotrwałym. Można więc tą metodą suszyć niezbyt wilgotne ziarno. W przypadku nieodpowiednich warunków prowadzenia procesu ziarno nie zostaje odpowiednio wysuszone i może dojść do jego zepsucia w wyniku rozwoju grzybów pleśniowych.

Suszenie wysokotemperaturowe polega na przepływie wcześniej podgrzanego powietrza przez warstwę ziarna, w wyniku czego ciepło zużywane jest na odparowanie wilgoci z ziarna. W metodzie tej można szybko suszyć ziarno o dość wysokiej wilgotności. W czasie suszenia w całej warstwie ziarna występuje rozkład wilgotności. Ziarno w pobliżu miejsca wlotu powietrza suszącego może być nawet przesuszone, natomiast w miejscu wylotu powietrza może mieć wilgotność większą niż początkowa. Do wad tej metody suszenia można zaliczyć również wysokie koszty suszarek, ich małą sprawność, duże zużycie energii na odparowanie wody spowodowane wysoką wartością ciepła parowania wody czy ryzyko uszkodzenia ziarna działaniem zbyt wysokiej temperatury. W produkcji kukurydzy, na przykład, na suszenie zużywane jest około 60% całkowitej energii procesu [Brooker i in. 1992; Marks i in. 1993].

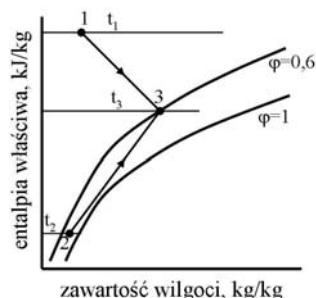
Suszenie, podobnie jak w przypadku aktywnej wentylacji, występuje wtedy, gdy wilgotność powietrza omywającego ziarno jest niższa od wilgotności równowagowej. Odparowaniu wody z powierzchni ziarna towarzyszy wyrównywanie się zawartości wody w jego wnętrzu. Szybkość wyrównywania się wilgoci wewnątrz ziarna zależy między innymi od jego rozmiarów, im większe ziarno tym wyrównywanie to jest wolniejsze. Jednak zjawisko to ma większe znaczenie w przypadku suszenia wysokotemperaturowego.

Mechanizm wymiany wody

Na rysunku 1 przedstawiono schematyczny wycinek wykresu entalpowego wilgotnego powietrza.

Do usuwania wilgoci z ziarna dochodzi wtedy, gdy odbierające tę wilgoć powietrze zwiększa swą zawartość wilgoci. Dochodzi do tego w przypadku przepływu powietrza o temperaturze większej niż temperatura ziarna (przemiana 1-3 na rysunku 1) lub o temperaturze mniejszej niż temperatura ziarna (przemiana 2-3 na rysunku 1). Realizując przemianę 1-3 należy najpierw podgrzać powietrze w podgrzewaczu do odpowiedniej temperatury, a następnie wprowadzić to powietrze do warstwy ziarna. Tak jest w przypadku suszenia. Jeżeli jednak wykorzysta się fakt, że powietrze atmosferyczne ma większą tempe-

raturę niż ziarno, to nie trzeba zużywać energii cieplnej na podgrzanie tego powietrza. Tak jest w przypadku aktywnego wietrzenia.

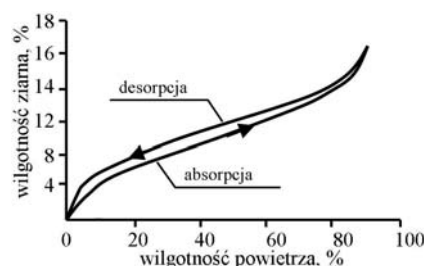


Rys. 1. Zmiany parametrów powietrza przy usuwaniu wilgoci z ziarna na wykresie Molliera; 1-3 - powietrzem ogrzanym; 2-3 - powietrzem zimnym

Fig. 1. Changes in air parameters during moisture removal from grain, shown on a Mollier chart; 1-3 - preheated air; 2-3 - cold air

W przemianie 2-3 usuwanie wilgoci z ziarna odbywa się dzięki temu, że temperatura tłoczonego przez ziarno powietrza jest niższa niż temperatura tego ziarna. Tu znów można wykorzystać niską temperaturę otoczenia (aktywne wietrzenie) lub zużyć energię na ochłodzenie powietrza, które następnie zostanie wtłoczone do warstwy ziarna (rzadko stosowane).

Proces wymiany wody między ziarnem i powietrzem zależy od różnicy stężeń pary wodnej w obu tych ośrodkach. Jeżeli stężenia zostaną wyrażone ciśnieniem cząstkowym pary wodnej, to można powiedzieć, że proces zależy od różnicy tych ciśnień w warstwie granicznej i trwa do momentu uzyskania wartości równoważnych. Operując pojęciem wilgotności ziarna poddanego suszeniu i wilgotności powietrza je otaczającego można wyznaczyć w danej temperaturze punkty tworzące krzywe równowagi sorpcyjnej (równoważnych wilgotności ziarna i powietrza). Krzywa ta rozdziela pole wykresu na strefę suszenia i strefę nawilżania ziarna. Krzywe równowagi ustalone przy sorpcji i desorpcji nie pokrywają się, występuje dość znaczne ich rozchylenie - zjawisko histerezy (rys. 2.).



Rys. 2. Rozchylenie izoterm sorpcji i desorpcji pary wodnej dla pszenicy [Biskupski i in., 1972]

Fig. 2. Parting of sorption and desorption isotherms of steam for wheat [Biskupski et al., 1972]

Równowagowe wilgotności ziarna uzyskiwane podczas suszenia (desorpcji) tego ziarna są większe od odpowiadającym im w danej temperaturze i wilgotności względnej powietrza w czasie nawilżania. Tak więc łatwiej jest ziarno nieopatrznie nawilżyć niż później wysuszyć. Ziarno ulega nawilżaniu w powietrzu o wilgotności względnej obszaru strefy nawilżania (pod krzywą absorpcji). Spadek wilgotności względnej powietrza nie powoduje jednak od razu suszenia ziarna. Usuwanie wilgoci z ziarna będzie występowało dopiero przy mniejszej wilgotności względnej powietrza (nad krzywą desorpcji).

Niebezpieczeństwo nawilżania ziarna

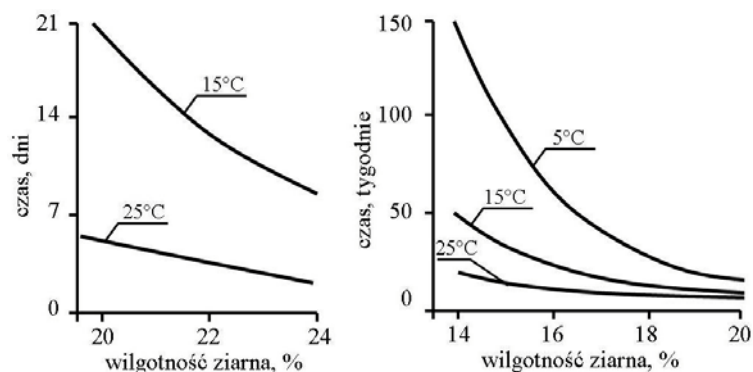
Do nawilżania ziarna dochodzi wtedy, gdy wilgotność względna powietrza otaczającego ziarno jest większa od równowagowej. Do nawilżenia może dojść również w wyniku kondensacji pary wodnej przy ściankach silosu. Wilgotne i ciepłe powietrze opuszczające warstwę suszonego ziarna może bowiem ulec ochłodzeniu od ścianek silosu, gdy temperatura otoczenia jest niska. Powstała w ten sposób woda może dalej spływać do złoża powodując jego miejscowe nawilżenie. Aby nie dopuścić do kondensacji należy zagwarantować swobodny wypływ powietrza z silosu.

Do nawilżenia może również dojść w czasie przechowywania ziarna, gdy ściana magazynu, najczęściej południowa, jest ogrzewana promieniami słonecznymi. W przypadku powstałej różnicy temperatur następuje powolny ruch powietrza w przestrzeniach międzyziarnowych. Powietrze cieplejsze oziębia się, co powoduje w konsekwencji oddawanie wilgoci ziarnu chłodniejszemu. Nawilżanie to występuje najczęściej od strony północnej i na dnie silosu lub magazynu płaskiego. Wczesne zauważenie tego zjawiska pozwala na zastosowanie jedynie przewietrzania ziarna. Dodatkowe suszenie nie jest wtedy konieczne.

Czas bezpiecznego przechowywania ziarna

Czas bezpiecznego przechowywania ziarna określany jest na podstawie wilgotności i temperatury ziarna oraz powietrza w przestrzeniach międzyziarnowych. Za kryterium bezpieczeństwa przyjmuje się najczęściej rozwój pleśni. Zależności czasu bezpiecznego przechowywania ziarna przedstawiane są w postaci tabel lub wykresów.

Na rysunku 3 przedstawiono wykres czasu bezpiecznego przechowywania ziarna zbóż dla powyższego kryterium. Widać, że czas bezpiecznego przechowywania ziarna jest silnie uzależniony od temperatury i wilgotności ziarna. Ziarno o wilgotności 14% i temperaturze 5°C można bezpiecznie przechowywać prawie 3 lata, a o wilgotności 24% i temperaturze 25°C tylko kilkadziesiąt godzin. Problem określenia czasu bezpiecznego przechowywania ziarna polega dodatkowo na tym, iż w czasie przechowywania ziarna zmienia się jego temperatura i/lub wilgotność, a czas ten podawany w tabelach i wykresach dotyczy stałych wartości temperatury i wilgotności ziarna.



Rys. 3. Czas bezpiecznego przechowywania ziarna zbóż w zależności od temperatury i wilgotności ziarna [Ryniecki i Szymański 1999]

Fig. 3. Time of safe crop grain storage depending on the temperature and grain moisture content [Ryniecki and Szymański (edit.), 1999]

Podsumowanie

Z dokonanego przeglądu wynika, że problem bezpiecznego przechowywania ziarna jest zagadnieniem bardzo skomplikowanym. Dlatego też, mimo że badania przechowywania ziarna prowadzi się od wielu lat, w dalszym ciągu brakuje wytycznych, jakie zabiegi pielęgnacyjne jest korzystnie stosować dla konkretnych parametrów ziarna i powietrza atmosferycznego

Bibliografia

- Biskupski M., Łysiak J., Strutyńska K., Tkaczyk R. 1972. Suszarnie zbożowe i urządzenia do aktywnego wietrzenia. WNT Warszawa. s. 83.
- Brooker D.B., Bakker-Arkema F.W., Hall C.W. 1992. Drying and storage of grains and oilseeds. New York, Von Nostrand Reinhold. s. 39.
- Feder S., Pawlicki T., Kaźmierczak H., Górecki M. 1994. Kierunki rozwoju suszarń ziarnowych. Część I. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej. 2. s. 6-8.
- Marks B.P., Maier D.E., Bakker-Arkema F.W. 1993. Optimization of a new in – bin counterflow corn drying system. Transactions of ASAE. 36(2). s. 529-534.
- Ryniecki A., Szymański P. (red.). 1999. Dobrze przechowane ziarno. Jak suszyć, chłodzić, przewietrzać, czyścić i przechowywać ziarno zbóż, nasion rzepaku i innych roślin. Poradnik. Pytania i odpowiedzi. Wydanie II. Mr INFO Towarzystwo Umiejętności Rolniczych Poznań. s. 4, 14.

SAFE GRAIN STORAGE – THE STUDY OF THE ISSUE

Abstract. The paper discusses the issues related to safe grain storage. It was demonstrated that, in spite of the fact that tests on grain storage have been carried out for many years now, there are still no guidelines specifying, which maintenance operations are advantageous for certain jest parameters of grain and atmospheric air.

Key words: grain storage, grain, quality

Adres do korespondencji:

Krzysztof Górnicki; e-mail: krzysztof_gornicki@sggw.pl
Katedra Podstaw Inżynierii
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa