

BEZPIECZNE PRZECHOWYWANIE ZIARNA ZBÓŻ

Poradnik dla producentów



POLSKI ZWIĄZEK
PRODUCENTÓW ROŚLIN ZBOŻOWYCH



SPIS TREŚCI

- 2 Ziarno zboża to żywy organizm
- 4 Czyszczenie ziarna zbóż – podstawowe wyposażenie gospodarstw
- 7 Ocena wilgotności ziarna
- 9 Magazyn przechowalniczy ziarna
- 11 Suszenie zboża
- 14 Migracja wilgoci w silosie – wentylacja ziarna
- 18 Konserwacja ziarna mokrego – suszenie niskotemperaturowe
- 22 Nowe elementy w monitorowaniu stanu ziarna
- 25 Szkodniki magazynowe
- 30 Uwaga. Mikotoksyny!

Opracowanie graficzne, skład i łamanie
OFI, ul. Kopernika 36/40
00-924 Warszawa

© Copyright by Polski Związek Producentów Roślin Zbożowych



Siedziba Związku:
Radzików, 05-870 Błonie, lab. II p. 89
Adres do korespondencji:
ul. Płaska 64, 87-100 Toruń
e-mail: biuro@pzprz.pl
<http://www.pzprz.pl>
ISBN: 978-83-969104-1-7


Warszawa, czerwiec 2024 r.

W warunkach klimatycznych Polski uprawy zbożowe dają rocznie jeden zbiór ziarna – oznacza to, że znakomita większość ziarna zbóż musi być składowana od 2–3 tygodni do kilkunastu miesięcy a niekiedy nawet kilku lat. W każdym okresie składowania ziarna warunki jego przechowywania muszą zapewnić jego trwałość, czyli zachowanie wartości użytkowej od zbioru z pola aż do momentu zużycia.

Należy pamiętać, że ziarno zboża to żywy organizm, który po zbiorze nadal przechodzi określone zmiany wynikające z czynności życiowych każdego żywego organizmu, np. oddychania, a także reaguje ono na określone czynniki zewnętrzne. Zachodzą w nim także rozpoczynające się natychmiast po zbiorze procesy określane tzw. dojrzewaniem późniwym, obserwowane zwykle w okresie około 12 pierwszych tygodni magazynowania ziarna po zbiorach. W okresie tym zachodzą końcowe procesy budowy materiałów zapasowych (skrobi i białka) związane z wydzielaniem wody („pocenie się” ziarna w magazynie), a następnie stopniowym przechodzeniem w stan anabiozy (uśpienia), tj. ograniczenia czynności życiowych (zmienia się zwłaszcza intensywność oddychania oraz poziom aktywności enzymatycznej).

Ziarno pszenicy zbudowane jest z trzech zasadniczych elementów, które odgrywają odmienną rolę fizjologiczną w żywym organizmie jakim jest ziarno, mają zróżnicowany skład chemiczny i inne znaczenie z punktu widzenia człowieka. Są to:

- okrywa owocowo-nasienna,
- zarodek,
- bielmo.



Ziarno zboża to żywy organizm, który po zbiorze nadal przechodzi określone zmiany wynikające z czynności życiowych każdego żywego organizmu a także reaguje na określone czynniki zewnętrzne. Zachodzą w nim także rozpoczynające się natychmiast po zbiorze procesy określane tzw. dojrzewaniem późniwym, obserwowane zwykle w okresie około 12 tygodni magazynowania ziarna po zbiorach.

Ziarno zboża to żywy organizm

Okrywa owocowo-nasienna zbudowana jest głównie z błonnika oraz soli mineralnych i praktycznie nie zawiera skrobi. Jest przepuszczalna dla gazów i cieczy, np. wody. W ziarnie spełnia funkcję ochronną przed działaniem czynników zewnętrznych.

Zarodek, który stanowi około 2,5% masy całego ziarna, z punktu widzenia fizjologicznego jest najważniejszą częścią ziarna, z którego rozwija się nowa roślina. Jednak łatwo ulega uszkodzeniu, np. podczas przemieszczania masy ziarnowej na drogach transportu wewnątrzmagazynowego. Ziarno pozbawione zarodka jest ziarnem uszkodzonym, które traci swoją naturalną odporność na niekorzystne czynniki otoczenia.

Bielmo ziarnowe stanowi średnio 89,5% całej masy. Bielmo mączne stanowi najbardziej wewnętrzną część ziarna pszenicy i zbudowane jest głównie ze skrobi oraz białka, tłuszczu i substancji mineralnych.

Jedną z cech masy ziarnowej, na którą warto zwrócić uwagę jest zdolność przekazywania ciepła (co nazywamy przewodnością cieplną). Przenoszenie ciepła w masie ziarnowej odbywa się przez przewodzenie i konwekcję. Przewodzenie oznacza, że ciepło przechodzi od jednego ziarna do drugiego, z którym się styka, przemieszczając się w ten sposób w masie ziarnowej we wszystkich kierunkach. Przez konwekcję ciepło przemieszcza się tylko w kie-

runku pionowym za pośrednictwem powietrza znajdującego się w przestrzeniach międzyziarnowych.

Masa ziarnowa źle przewodzi ciepło co oznacza, że trudno się ogrzewa i długo trwa obniżenie jej temperatury. Mimo to może jednak być ogrzewana lub chłodzona. Procesy te zachodzą albo jako wywołane przez człowieka w celu osiągnięcia określonego efektu (np. najpierw podgrzanie ziarna w celu obniżenia jego wilgotności, a następnie schłodzenie do temperatury odpowiedniej do bezpiecznego składowania ziarna), albo wbrew jego woli i musi im przeciwdziałać, aby uniknąć zniszczenia ziarna lub obniżenia jego wartości technologicznej.

Wskutek złej przewodności cieplnej ziarna w przypadku jego wzmożonej aktywności życiowej, przejawiającej się intensywnym oddychaniem, któremu towarzyszy wydzielanie ciepła, może rozwinąć się proces samozagrzewania ziarna, prowadzący do strat ilościowych i jakościowych. Z drugiej strony zła przewodność cieplna masy ziarnowej minimalizuje wpływ temperatury otoczenia na głębsze warstwy ziarna w komorach elewatorów, zwłaszcza żelbetonowych. Ziarno schłodzone bardzo powoli nagrzewa się, co pozwala na utrzymywanie w lecie niskiej temperatury ziarna składowanego w komorze elewatora, jeżeli wcześniej zostało ono schłodzone do odpowiedniej temperatury. Długotrwały jest również proces schładzania ziarna nagrzanego w trakcie suszenia termicznego. A dużym błędem jest kierowanie ziarna o zbyt wysokiej temperaturze (tj. przekraczającej 15°C) do składowania w przestrzeni magazynowej, w której nie ma możliwości wykonania zabiegu jego aktywnego wietrzenia.

Inną cechą ziarna, o której warto pamiętać jest samosortowanie. Zjawisko to obserwujemy przy jego przemieszczaniu np. w trakcie napełniania komory magazynowej lub środka transportu albo przy nasypywaniu ziarna na powierzchnię płaską w celu utworzenia pryzmy. Części ciężkie (ziarno dorodne, kamienie) gromadzą się w części środkowej, zaś części lekkie (ziarna poślednie, zanieczyszczenia lekkie np. plewy) – w częściach peryferyjnych przy ścianach komory magazynowej lub skrzyni ładunkowej albo wokół usypanej na płaskiej powierzchni pryzmy ziarna. Powoduje to niejednorodność partii ziarna umieszczonej w jednej komorze lub na jednym środku transportu oraz tworzy korzystne warunki przebiegu w masie ziarnowej procesów fizjologicznych mogących powodować zlegiwanie i samozagrzewanie ziarna. Zjawisku samosortowania się sprzyja także wszelka niejednorodność masy ziarnowej, np. pod względem wilgotności, wielkości poszczególnych ziaren czy obecności zanieczyszczeń różnego rodzaju. Zachodzi ono także podczas transportu wewnątrz magazynu, tj. w trakcie przemieszczania ziarna za pomocą przenośników taśmowych, redlerów, podnośników kubelkowych, a także w transporcie grawitacyjnym ziarna. Pamiętajmy o tym gdy będziemy chcieli pobrać reprezentatywną próbkę ziarna.



Opracowano na podstawie publikacji
autorstwa Jadwigi Rothkaehl

Czyszczenie ziarna zbóż – podstawowe wyposażenie gospodarstw

Zarówno czyszczenie jak i sortowanie są zabiegami niezbędnymi, gdyż nasiona dostarczane prosto z kombajnu do silosów i magazynów, nie są materiałem jednorodnym. Oprócz nasion gatunku uprawnego, znajdują się tam różne zanieczyszczenia użyteczne i nieużyteczne. Do pierwszej grupy zalicza się: pośląd, czyli ziarna „chude” i nie w pełni wykształcone (przesiewające się przez sito o oczkach 1,6x2,5 mm), ziarno porośnięte, uszkodzone mechanicznie więcej niż w połowie i uszkodzone przez szkodniki. Do tej grupy można zaliczyć także ziarna ściemniałe na skutek niewłaściwego przechowywania w miejscu składowania lub przypalone podczas suszenia, jak również ziarna innego gatunku uprawnego. Czystość ziarna ma szczególnie duże znaczenie przy jego sprzedaży, gdzie stopień zanieczyszczenia w największym stopniu wpływa na jakość dostarczonej partii.

Zanieczyszczenia organiczne występujące w nieprzetworzonym ziarnie zbóż można podzielić na te pochodzenia biologicznego oraz stanowiące pozostałości różnych substancji chemicznych. Przykładem tych pierwszych są mykotoksyny wytwarzane przez pleśnie. Zanieczyszczenia chemiczne obejmują przede wszystkim pestycydy celowo stosowane przez rolników do ochrony upraw oraz substancje, które migrują do ziarna ze środowiskowego, np. dioksyny, chlorowane bifenyle, polibromowane etery difenylowe czy wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA).

Zbiór kombajnowy nie zapewnia niskiego poziomu zanieczyszczenia ziarna. Duży udział zanieczyszczeń w dalszych procesach technologicznych przygotowania ziarna do przechowywania wpływa na m.in.: nadmierne zanieczyszczenie urządzeń transportowych (przenośników), komory suszarni jak również wywołanie zagrożenia niekorzystnymi procesami mikrobiologicznymi w ziarnie. Dodatkowo w dużym stopniu obniża efektywność procesu suszenia jak również podwyższa jego koszt w wyniku suszenia dodatkowej niepotrzebnej masy.

Mówiąc o przechowywaniu zboża w silosach nie sposób pominąć sprzętu do czyszczenia ziarna i nasion, który ostatecznie zwiększa opłacalność upraw. Sprzęt do czyszczenia zboża i nasion jest koniecznością choćby dlatego, że znacznie skraca czas pracy po zbiorach. Maszyny pomagają przyspieszyć przerób zbóż i nasion. W zależności od rodzaju uprawy i potrzeb eksploatacyjnych oferowana jest szeroka gama takich urządzeń.

Oczekuje się, że w najbliższym czasie w Europie odnotuje się umiarkowane tempo wzrostu sprzedaży urządzeń czyszczących ziarno. Rosnąca popularność konfigurowalnych urządzeń do czyszczenia zbóż i nasion jest jednym z kluczowych trendów zwiększających ich popularność na rynku. Sprzedawcy coraz częściej oferują

niestandardowe modele tego sprzętu, aby spełnić specyficzne wymagania rolników. Sprzęt ten można dostosować do różnych upraw, takich jak soja, nasiona słonecznika, rzepak oraz ziarno zbóż a jego regulowane funkcje można dostosować do rodzaju surowca i ich indywidualnych cech fizycznych. Dostępność takich konfigurowalnych urządzeń do czyszczenia ziarna i nasion będzie dodatkowo napędzać rozwój tego rynku.

PROCES CZYSZCZENIA

Czyszczenie ziarna i nasion ma na celu oddzielenie z nich wszelkich zanieczyszczeń. Oczyszczony materiał poddawany jest następnie sortowaniu, czyli rozdzielaniu na różne frakcje. Oba zabiegi są przeprowadzane niemal w każdym gospodarstwie, chociażby na krótko przed siewami. W procesie czyszczenia i sortowania nasion wykorzystuje się różnice cech aerodynamicznych i geometrycznych, tj. wymiary, kształt itp. Cechami uzupełniającymi są: masa właściwa, współczynnik tarcia, tekstura powierzchni nasion, wytrzymałość mechaniczna, właściwości elektryczne i optyczne (barwa). Do najczęściej spotykanych zespołów roboczych czyszczalni należą: sita, separatory (rozdzielacze) pneumatyczne i tryjery. Separatory pneumatyczne wykorzystują różnicę właściwości aerodynamicznych i gęstości pomiędzy ziarnem celnym a zanieczyszczeniami. Dla ziarna zbóż z zasady stosowane są urządzenia sitowo-pneuma-



Efektywność urządzeń czyszczących, w dużej mierze zależy od ich umieszczenia w linii technologicznej. Przede wszystkim trzeba zwrócić uwagę, aby nie były one tzw. „wąskim gardłem”.



Gospodarstwo decydujące się na przechowywanie ziarna w magazynach silosowych powinno kierować do nich ziarno oczyszczone.

tyczne i sitowo-pneumatyczne wyposażone w tryjery. Urządzenia te mogą być przewoźne lub stacjonarne. Mogą być stosowane dla różnych gatunków ziarna i nasion po dokonaniu odpowiednich regulacji parametrów strugi powietrza. Aby uzyskać wymagany poziom czystości ziarna stosuje się maszyny czyszczące wykorzystujące wiele cech rozdzielczych. Połączenie układu separatora pneumatycznego z zespołem sit i tryjerem tworzy czyszczalnię złożoną, która zapewnia uzyskanie wysokiej czystości ziarna i w dostateczny sposób przygotowuje ziarno do przechowywania czy też do siewu.

Gospodarstwa zwykle posiadają magazyny silosowe i płaskie, które umożliwiają długoterminowe składowanie ziarna. Stosowanie prostych urządzeń czyszczących, działających na zasadzie aspiracji, pozwala w prosty i skuteczny sposób oddzielić niepożądane lekkie zanieczyszczenia. Zalegają one, bowiem w obudowach przenośników, zmniejszając ich drożność, a tym samym obniżając jakość pracy suszarni (dodatkowo groźba samozapłonu). Gospodarstwo decydujące się na przechowywanie ziarna w magazynach silosowych powinno kierować do nich ziarno oczyszczone.

ASPIRATOR

Do wstępnego czyszczenia ziarna używane są urządzenia pneumatyczne (aspiratory). W urządzeniach tych wykorzystuje się strumień powietrza o określonej sile. Ziarno opada na dół, a zanieczyszczenia lekkie są unoszone z powietrzem. Regulując wielkość przysłony i prędkość strumienia powietrza, aspirator można przystosować do czyszczenia różnych gatunków. Nie jest to jednak urządzenie na tyle uniwersalne, aby czyścić wszystkie rodzaje nasion. Aspiratory cechują zwykle małe wymiary, co pozwala na łatwe ich włączenie do cyklu transportowego przechowalni, niemal w każdym jej punkcie.

Innym typem urządzeń czyszczących są separatory. Wykorzystuje się tu fakt, że w czyszczonej masie znajdują się nasiona o róż-

nych cechach aerodynamicznych, tj. masa i prędkość unoszenia przez strumień powietrza. Ziarno wprowadzane jest tam ze zbiornika zasilającego. Jego ilość, przechodząca przez separator jest regulowana przysłoną. Lekkie zanieczyszczenia są porywane przez prąd powietrza. W komorze rozprężnej zanieczyszczenia cięższe opadają, gdzie są odbierane np. za pomocą przenośnika ślimakowego.

Zwarta budowa separatorów pneumatycznych umożliwia bardzo łatwe włączenie ich w linie przyjęcia ziarna bez ograniczenia ich wydajności, które zawiera się w zależności od typu w zakresie od 20 do 200 ton/h. Urządzenia te charakteryzuje relatywnie niska cena.

URZĄDZENIA SITOWO-PNEUMATYCZNE

Urządzenia sitowo-pneumatyczne, czyli popularne wialnie służą zarówno do czyszczenia, jak i sortowania ziarna lub nasion. Są one przeznaczone głównie dla gospodarstw indywidualnych. Ziarno czyszczone na nich, przeważnie ma przeznaczenie paszowe, konsumpcyjne, choć urządzenia te bywają wykorzystywane również do czyszczenia materiału siewnego. Wialnie charakteryzują się niewielką masą oraz prostą budową i obsługą. Wspólne ich cechy to stosowanie do czyszczenia zespołu sit i strumienia powietrza. Zależnie od wielkości nasion stosuje się w nich sita o określonych otworach. Sita mogą mieć otwory okrągłe lub podłużne (ułożone równolegle lub ukośnie). Stosowane są też sita wykonane z drutu – plecione lub tkane. Dla przykładu np. czyszczalnie Petkus mają w ofercie ok. 140 sit, dla nasion różnych gatunków roślin. Ziarno wstępnie oczyszczone w wialni, często jest transportowane do tryjera. Elementem roboczym jest tu obrotowy cylinder z wyłobionymi wewnątrz gniazdami. W praktyce stosowane są również tryjery tarczowe, gdzie elementem roboczym jest tarcza z wyłobionymi otworami. Tryjery zapewniają rozdział ziarna zbóż według długości. Średnica i głębokość gniazd są dobrane w zależności od długości i średniej grubości ziarna. Tryjer oddziela ziarna krótsze z ziarna „okrągłego” lub ziarna długiego.

INSTALACJA CZYSZCZALNI

Efektywność urządzeń czyszczących, w dużej mierze zależy od ich umieszczenia w linii technologicznej. Przede wszystkim trzeba zwrócić uwagę, aby nie były one tzw. „wąskim gardłem”. Chodzi tu o dopasowanie ich wydajności do innych urządzeń, z którymi współpracują. Tylko wówczas zapewniona będzie ciągłość pracy. Dlatego warto czasem sporządzić ogólny plan usytuowania linii czyszczącej. Urządzenia do czyszczenia (czyszczalnie uniwersalne) powinny być instalowane w pomieszczeniach, które osłonią je przed wpływami czynników atmosferycznych. Miejsce powinno być dobrze oświetlone, co ułatwi przede wszystkim przeprowadzenie regulacji i obsługę urządzenia. Sita, montowane w czyszczalniach należy, co jakiś czas oczyścić. Trzeba też pamiętać, aby do każdego gatunku dobrać właściwą wielkość otworów. Wielkość przysłony aspiracji, powinna zostać wyregulowana zgodnie z zaleceniami instrukcji obsługi. Czyszczalni nie wolno uruchamiać, jeżeli nie są założone wszystkie ramy z sitami oraz gdy są otwarte pokrywy rewizyjne lub odkręcone części obudowy. Istotnym warunkiem prawidłowej eksploatacji jest umiejscowienie leja zsykowego oczyszczonego ziarna i miejsca odbioru zanieczyszczeń z wylotów. Konieczne jest również prawidłowe zamocowanie urządzenia do podłogi lub ramy pomostu montażowego, a także odpowiednie podłączenie instalacji elektrycznej. Dla prawidłowej obsługi czyszczalni, wymiany sit oraz prac konserwatorskich należy zapewnić łatwy dostęp do urządzenia ze wszystkich stron.

NOWE ROZWIĄZANIA

W miarę ciągłego rozwoju technologii czyszczenia ziarna wprowadzono maszyny łączące w sobie wiele zasad czyszczenia, obejmujących przesiewanie, oddzielanie gęstości i aspirację w jednej maszynie. Maszyny kombinowane umożliwiły większą wydajność czyszczenia ziarna na mniejszej przestrzeni, co pomogło obniżyć koszty inwestycyjne. Nowe innowacje w czyszczeniu ziarna przywracają zalety przesiewania i klasyfikowania ziarna według wielkości przy jednoczesnym usuwaniu zanieczyszczeń. Połączenie wielu maszyn wykorzystujących tradycyjne mechaniczne metody usuwania zanieczyszczeń z ziarna zbóż na podstawie rozmiaru, kształtu i gęstości w jeden sortownik optyczny zmniejsza koszty energii. Istnieje kilka firm wprowadzających innowacyjne maszyny zaliczane do sortowników kolorowych lub optycznych. Maszyny te wykraczają jednak poza optyczne oddzielanie niepożądanych zanieczyszczeń na podstawie koloru. Najnowsze osiągnięcia obejmują możliwości sortowania w podczerwieni, a nawet ultrafiolecie w połączeniu z technologią wykrywania kolorów, aby umożliwić kontrolę pod kątem ciał obcych o niewidocznych właściwościach optycznych, takich jak przezroczyste szkło i kamienie. Przykładowo zastosowanie sortowania optycznego skutecznie usuwa pszenicę porażoną fusarium z pszenicy wysokiej jakości.

Zastosowanie tych innowacji w procesie czyszczenia pozwala uzyskać produkt końcowy lepszej jakości, bezpieczniejszy i bardziej spójny. Efektem tego jest poprawa rentowności i wizerunku naszej branży w czasach, gdy czystość produktów i standardy bezpieczeństwa żywności są uznawane za najważniejsze.

* Global Grain Silos and Storage System Market - Industry Trends and Forecast to 2029

Dr inż. Lesław Janowicz,
Ekspert Polskiego Związku
Producentów Roślin Zbożowych

Informacja o wilgotności zebranego lub przechowywanego ziarna jest kluczowa dla jego właściciela. Decyduje o jego dosuszeniu lub pozostawieniu go bez dalszej obróbki. Ma wpływ na koszty uzyskania produktu, jakim jest ziarno. Podczas przechowywania ziarna w silosie informacja taka pozwala na podjęcie decyzji np. o dodatkowej wentylacji i dosuszeniu. Warto przy tym pamiętać, że np. w przypadku ziarna kukurydzy koszty suszenia mogą stanowić nawet 30% kosztów uzyskania suchego ziarna.

Dlaczego informacja o poziomie wilgotności jest tak istotna? Woda zawarta w ziarnie pozwala na zachodzenie procesów metabolicznych – może wpływać na obniżenie jakości ziarna i jego wartości odżywczych podczas przechowywania. Zwiększona wilgotność może też powodować rozwój szkodliwych mikroorganizmów żyjących na powierzchni ziarniaków, na przykład grzybów toksynotwórczych, które mogą w trakcie długotrwałego przechowywania wytwarzać szkodliwe mikotoksyny.

Wilgotność ziarna przeznaczonego do przechowywania nie powinna przekraczać 14%. Przy przechowywaniu przez dłuższy czas nie powinna przekraczać 13%. W przypadku kukurydzy zebranej jesienią z zamiarem przechowywania do wiosny dopuszczalna jest wilgotność do 15,5%.

Zawartość wody w ziarnie nie może być również zbyt niska. Zbyt suche ziarno łatwiej ulega uszkodzeniu podczas wszelkich operacji, takich jak młócenie, czyszczenie, przeładunek, transport i pakowanie. Mikropęknięcia nasion obniżają zdolność kiełkowania i stanowią drogę do wnikania organizmów patogennych, takich jak grzyby i bakterie, przez co pogarszają jakość materiału siewnego i skracają czas bezpiecznego przechowywania ziarna. Wilgotność jest to wyrażany w procentach stosunek masy zawartej w próbce materiału wody „wolnej” (m_w), niezwiązanej z nim chemicznie ani fizycznie, do jej masy wilgotnej ($m_w + m_s$), gdzie m_s oznacza masę próbki materiału po wysuszeniu;

W jaki sposób możemy zmierzyć zawartość wody w ziarnie?

Oznaczanie wilgotności ziarna może być wykonane:

- metodą wagową (suszarkową),
- za pomocą mierników elektrycznych i elektronicznych
- za pomocą aparatów pomiarowych wykorzystujących technikę bliskiej podczerwieni NIR.

Podstawową metodą określania zawartości wody w ziarnie jest metoda wagowa (suszarkowa). Jest to metoda odwoławcza, referencyjna. Polega na pobraniu reprezentatywnej próby ziarna, zmieleniu jej na młynku laboratoryjnym o odpowiednich sitach, naważeniu próby analitycznej do odpowiedniego naczynka, suszeniu i zważeniu wysuszonej próbki. Z różnicy wagi ziarna przed i po suszeniu obliczana jest zawartość wody w ziarnie.

Do oznaczania wilgotności ziarna zbóż, nasion roślin oleistych i strączkowych stosuje się następujące normy:

- PN-EN ISO 712:2012 Ziarno zbóż i przetwory zbożowe – Oznaczanie wilgotności – Metoda odwoławcza. Normę stosuje się do: pszenicy, ryżu, jęczmienia, prosa, żyta, owsa, pszenżyta, sorga, w postaci ziarna nierozdrobnionego, rozdrobnionego ziarna i mąki.
- PN-EN ISO 6540:2010 Kukurydza – Oznaczanie wilgotności (rozdrobnionego i całego ziarna).
- PN-EN ISO 665:2004 Nasiona oleiste – Oznaczanie wilgotności i zawartości substancji lotnych.

Metoda suszarkowa jest metodą bezpośrednią, referencyjną, czyli metodą odniesienia dla innych metod określanych mianem

Ocena wilgotności ziarna

pośrednich. Mimo wysokiej dokładności ma swoje wysokie wymagania oraz ograniczenia takie jak długi czas analizy oraz konieczność posiadania odpowiedniej aparatury analitycznej. Wymagane jest posiadanie m.in.:

- wagi analitycznej o dokładności 0,001 g,
- młynka laboratoryjnego który jest wykonany z materiałów nie absorbujących wilgoci, w trakcie rozdrabniania materiału nie powoduje podwyższenia temperatury mielonego produktu o więcej niż 5°C, i z ograniczonym dostępem powietrza, co zapobiega zmianom wilgotności badanego materiału
- suszarki z termoregulacją, pozwalającej na utrzymanie zadanej temperatury.

Czas analizy tą metodą dla ziarna zbóż wynosi około 3 godziny, dla kukurydzy około 5 godzin, a dla rzepaku około 6 godzin. Jeżeli wilgotność wyjściowa ziarna jest wyższa niż 15%, czas analizy wydłuża się o okres wstępnego kondycjonowania ziarna, czyli doprowadzenia ziarna do wilgotności w przedziale od 9 do 15%. Wynika to z faktu, że mielenie zbyt mokrego ziarna powoduje niekontrolowane odparowanie wody, natomiast w przypadku ziarna przesuszonego (poniżej 9%) powoduje absorpcję wilgoci z powietrza, i zafałszowanie wyniku pomiaru. Czas oczekiwania na wynik badania wilgotności ziarna metodą suszarkową jest zbyt długi, jeśli w grę wchodzi przyjmowanie ziarna do magazynu. W takim wypadku niezbędne jest szybkie uzyskanie informacji o wilgotności ziarna w celu podjęcia decyzji co do dalszego działania związanego z daną partią ziarna (dosuszenie, skierowanie do odpowiedniego magazynu) lub ustalenia ceny przy rozliczeniu ze sprzedającym.

Pomiaru wilgotności można dokonać również za pomocą wagosuszarki, urządzenia w postaci wagi elektronicznej z komorą suszącą, służącego do wyznaczania wilgotności względnej badanej próbki materiału poprzez analizę zmiany (ubytku) masy w trakcie jej suszenia z wykorzystaniem metody termogravimetrycznej. Analizator wilgotności w postaci wagosuszarki ułatwia proces pomiaru oraz umożliwia skrócenie czasu całej analizy. Wagosuszarka może współpracować z takimi urządzeniami jak drukarka lub komputer z odpowiednim programem do archiwizacji i analizy pomiarów. Elementem grzewczym w komorze suszenia wagosuszarki może być grzałka na podczerwień lub halogenowa.

Na rynku dostępne są wilgotnościomierze bazujące na związkach między parametrami fizycznymi ziarna a zawartością w nim wody. Wyróżnia się wilgotnościomierze pojemnościowe, oporowe i spektralne, analizujące wilgotność zarówno ziarna zmielonego,

zgniatanego jak i nienaruszonego.

Obecny postęp w zastosowaniu metod fizycznych w analityce jest olbrzymi, i zwykłemu użytkownikowi trudno jest ocenić przydatność różnych urządzeń oferowanych na rynku.

Najczęściej spotykane są wilgotnościomierze pojemnościowe które wykorzystują zależność między wilgotnością ziarna a jego pojemnością elektryczną. Komora pomiarowa stanowi swego rodzaju kondensator. Przy opróżnionej komorze wykonywany jest odczyt kontrolny, w którym materiałem izolującym jest jedynie powietrze. Po napełnieniu komory odpowiednią ilością ziarna odczytywany jest współczynnik pojemności (tzw. stała dielektryczna) silnie skorelowany z wilgotnością badanego ziarna. Na wartość stałej dielektrycznej materiału ma wpływ gatunek zboża, zmienność odmianowa, jego wilgotność, temperatura, wielkość i kształt ziarna, rozkład wilgotności w ziarniaku, właściwości powierzchni ziarniaka, a nawet przebieg warunków pogodowych w danym sezonie. Dlatego dla każdego gatunku zboża tworzonych jest kilka tzw. krzywych kalibracyjnych uwzględniających wpływ poszczególnych czynników.

Wilgotnościomierze elektryczne i elektroniczne jako urządzenia pomiarowe podlegające kalibracji powinny być co roku poddawane kalibracji z użyciem prób ziarna pochodzących z aktualnego sezonu zbioru, ze względu na wcześniej wspomnianą zmienność właściwości ziarna w różnych sezonach.

Co prawda wilgotnościomierze elektryczne nie podlegają procedurze legalizacji, gdyż nie są uwzględnione w Rozporządzeniu w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej [Dz. U. 2017, poz. 885], lecz użytkownicy wilgotnościomierzy mogą dobrowolnie wykonać atestację lub wzorcowanie w celu potwierdzenia prawidłowości ich pracy przez niezależną jednostkę, co poprawi zaufanie do funkcjonowania tych urządzeń i prawidłowości odczytów.

Na rynku istnieje wiele modeli wilgotnościomierzy, jednak wszystkie powinny spełniać takie same kryteria wiarygodności pomiarów. Mimo że nie istnieje obowiązek zatwierdzenia początkowej kalibracji ani typu aparatu, to w normie PN-ISO 7700-1:2014-06 Produkty żywnościowe – Sprawdzanie wzorcowania wilgotnościomierzy użytkowych – Część 1: Wilgotnościomierze do ziarna zbóż, określono metodę wzorcowania wilgotnościomierzy użytkowych stosowanych do pomiaru wilgotności ziarna zbóż. Wyniki opisanego w tej normie sprawdzania są wykorzystywane do podejmowania decyzji, czy urządzenie funkcjonuje poprawnie, czy powinno się przeprowadzić ponowną kalibrację wilgotnościomierza lub go

Tabela 1. Zestawienie najważniejszych elementów metodyki oznaczania wilgotności ziarna zbóż i nasion roślin oleistych

Produkt	Norma	Temperatura	Czas*	Naważka
Ziarno zbóż podstawowych	PN-EN ISO 712:2012	130–133° C	120 ± 5 min	4–6 g
Ziarno kukurydzy	PN-EN ISO 6540:2010	130–133° C	240 min	ok. 8 g
Nasiona roślin oleistych	PN-EN ISO 665:2004	103°C ± 2° C	do stałej masy	5 ± 0,5 g ^A lub 5 – 10 g ^B

* – czas liczony od momentu kiedy temperatura w suszarce ponownie osiągnie określony poziom,

A – rozdrobnione nasiona średniej wielkości inne niż nasiona słonecznika, soi, krokosza,

B – całe nasiona rzepaku, lnu, krokosza, słonecznika, soi, bawełny.



Fot. 1. Referencyjny pomiar wilgotności ziarna metodą suszarkową



Fot. 2. Przenośny wilgotnościomierz f-my Dramiński



Fot. 3. Przenośny aparat do mierzenia wilgotności MiniGAC plus



Fot. 4. Analizator bliskiej podczerwieni do analizy wilgotności i innych parametrów ziarna Infra-tec 1241 Grain Analyzer (Foss)

naprawić. Przy wilgotności ziarna nieprzekraczającej 10% dopuszczalne błędy maksymalne między wynikiem oznaczenia wilgotności metodą suszarkową a wilgotnościomierzem powinny być niższe niż 0,7% dla ziarna zbóż innego niż kukurydza, ryż i sorgo, oraz 0,8% dla kukurydzy, ryżu i sorga. Gdy wilgotność ziarna przekracza 10%, błąd maksymalny nie powinien być odpowiednio wyższy niż $0,03 \times W_{\text{H}_2\text{O}} + 0,4\%$ dla zbóż innych niż kukurydza, ryż i sorgo i $0,04 \times W_{\text{H}_2\text{O}} + 0,4\%$ dla kukurydzy, ryżu i sorga.

W ramach atestacji w wilgotnościomierzach są sprawdzane pod względem poprawności odczytów wszystkie programy dla poszczególnych gatunków zbóż przez porównanie wyników oznaczania wilgotności za pomocą wilgotnościomierza oraz metodą referencyjną (metodą wagową).

Dopuszczalne maksymalne błędy pomiarowe przy sprawdzaniu (atestacji) urządzeń i użytkowaniu wilgotnościomierzy w przypadku ziarna zbóż i nasion oleistych określono w Zaleceniach Nr 59, opracowanych przez Międzynarodową Organizację Metrologii Prawnej (OIML Nr 59-2016). W przypadku atestacji, dla wartości mierzonej nie większej niż 10% dla wilgotnościomierzy klasy I błąd maksymalny nie może być większy niż 0,5%, a dla wilgotnościomierzy klasy II błąd maksymalny nie może być większy niż 0,6% wilgotności. Przy użytkowaniu błędy te nie mogą być większe niż odpowiednio 0,7% i 0,8% wilgotności.

Gdy w trakcie atestacji mierzona wartość wilgotności przekracza 10%, wówczas błędy maksymalne nie mogą przekraczać $\pm (3\% \text{ wartości mierzonej} + 0,2\% \text{ wilgotności})$ dla wilgotnościomierzy klasy I i $\pm (4\% \text{ wartości mierzonej} + 0,2\% \text{ wilgotności})$ dla wilgotnościomierzy klasy II. Przy użytkowaniu urządzeń błędy te nie mogą być większe niż odpowiednio $\pm (3\% \text{ wartości mierzonej} + 0,4\% \text{ wilgotności})$ dla wilgotnościomierzy klasy I i $\pm (4\% \text{ wartości mierzonej} + 0,4\% \text{ wilgotności})$ dla wilgotnościomierzy klasy II. W przypadku pomiarów wilgotności ziarna kukurydzy wartości dopuszczalnych błędów są odpowiednio większe o ok. 0,1%. Zatem im większa jest wilgotność bezwzględna ziarna, tym większe są dopuszczalne maksymalne błędy odczytu wilgotności na wilgotnościomierzu. Warto zaznaczyć, że podane wartości maksymalnych błędów pomiarowych nie zależą od rodzaju miernika czyli zasady jego funkcjonowania, lecz od jego klasy.

Dlatego nie należy się dziwić różnicom w odczytach wilgotności na różnych urządzeniach. Należy też zwrócić uwagę, że różnice w pomiarach wilgotności ziarna wynikają z naturalnej zmienności tej cechy w zebranej dużej masie ziarna (zmienność polowa, środowiska, stopnia dojrzałości i uwarunkowań lokalnych).

Mimo tych niedoskonałości, korzystanie z urządzeń przenośnych jakimi są wilgotnościomierze elektryczne, jest ze wszelkich potrzebne i przynosi bardzo duże korzyści, pozwalając na szybkie podejmowanie decyzji, gdyż analiza trwa kilkanaście sekund i nie wymaga zastosowania dodatkowych drogich specjalistycznych urządzeń. Natomiast gwarancją prawidłowego pomiaru jest postępowanie ściśle z zaleceniami producenta konkretnego modelu urządzenia. Dotyczy to zwłaszcza pobierania konkretnej masy ziarna do badania i prawidłowego obchodzenia się z urządzeniem podczas pomiaru. Istotne jest także okresowe sprawdzanie poprawności pomiarów, zwłaszcza w nowym sezonie zbiorów, jak wspomniano wcześniej.

Oprócz urządzeń elektrycznych, mniej lub bardziej zaawansowanych, istnieją także aparaty pomiarowe wykorzystujące do swojego działania wiązkę fal elektromagnetycznych o określonych długościach w zakresie bliskiej podczerwieni od 700 do 2500 nm (NIR), kierowaną na próbkę ziarna. Następnie komputerowo analizowany jest obraz (widmo) fal przechodzących przez próbkę lub odbitych od próbki. Są to urządzenia bardziej zaawansowane, i oprócz pomiarów wilgotności pozwalają na odczytywanie zawartości innych składników ziarna, np. skrobi, tłuszczu, białka oraz innych substancji zarówno odżywczych jak i szkodliwych. Ważne jest, że są to urządzenia nieniszczące, tzn. ziarno nie ulega uszkodzeniu podczas analizy, a zaletą jest również krótki czas pomiaru, wynoszący ok 60 sekund. W większości przypadków są to aparaty stacjonarne, znajdujące się w laboratoriach w punktach odbioru surowca. Oferowane na rynku są również urządzenia monitorujące w czasie rzeczywistym (in-line) wilgotność i parametry jakościowe ziarna, np. przy załadunkach partii ziarna, przed procesem przetwórczym (mieszalnie pasz, młyny) oraz podczas zbiorów w niektórych kombajnach. Koszt zakupu analizatorów podczerwieni jest znacznie wyższy niż wilgotnościomierzy, jednak zastosowanie ich w dużej skali przynosi bardzo wymierne korzyści.

Podsumowując, powszechne monitorowanie wilgotności ziarna za pomocą wszelkiego typu urządzeń, mniej lub bardziej zaawansowanych, przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa i poprawy jakości żywności i pasz oraz powoduje obniżenie kosztów i strat ponoszonych przez rolników poprzez wspieranie podejmowania kluczowych decyzji dotyczących zbiorów i przechowywania ziarna.

Dr Piotr Ochodzki
IHAR-PIB

Magazyn przechowalniczy ziarna

Oczekuje się, że rynek silosów do przechowywania zboża będzie rósł w tempie 4,71% rocznie z 1,429 mld USD w 2022 r. do 1,973 mld USD w 2029 r.*

Silosy zapewniają długotrwałe i ekonomiczne przechowywanie surowca rolniczego, szczególnie korzystne w sytuacjach, gdy dysponujemy ograniczoną powierzchnią magazynową. Ten segment rynku odgrywa znaczącą rolę w całej branży rolniczej, pomagając wzmocnić produkcję zbóż poprzez zapewnienie niezbędnej infrastruktury do przechowywania ziarna.

Globalna produkcja rolna rośnie z roku na rok. Jednak co roku, jednym z głównych wyzwań, przed którymi stoimy, są straty ziarna w trakcie jego przechowywania. **Organizacja ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) szacuje, że na poszczególnych etapach (zbiór, przechowywanie, przetwórstwo, transport) marnujemy jedną trzecią żywności produkowanej na całym świecie. Każdego roku tylko z powodu niewłaściwych warunków przechowywania tracimy miliony ton zboża.** Ma to szczególne znaczenie w krajach rozwijających się, gdzie dostęp do żywności w dalszym ciągu stanowi wielki problem. Ale nie tylko tam. U nas w Polsce też. Dlatego też właściwe techniki przechowywania należą do najważniejszych elementów łańcucha dostaw zboża, a czynniki takie jak wilgotność, temperatura, szkodniki i napowietrzanie, które wpływają na warunki przechowywania, decydują w efekcie o jakości i ilości dostępnego ziarna.

SILOS ZBOŻOWY

Silos zapewnia długotermiowe i efektywne przechowywanie ziarna – wymaga jednak umiejętnej obsługi i konserwacji. Silosy muszą być właściwie obsługiwane, aby utrzymać jakość ziarna składowanego wewnątrz silosu na odpowiednim poziomie. Napowie-

trzenie, wentylacja i fumigacja powinny być odpowiednio dobrane, aby można było kontrolować środowisko wewnątrz silosu co pozwoli zachować odpowiednią jakość ziarna.

Ziarna mają charakter higroskopijny – pochłaniają lub desorbują wilgoć w zależności od temperatury i wilgotności względnej otaczającego je powietrza, aż osiągną równowagę z otaczającym powietrzem.

Podczas żniw temperatura ziarna jest wypadkową warunków atmosferycznych i rodzaju używanych maszyn. W czasie przechowywania jedynie ta część ziarna, która jest w bezpośrednim sąsiedztwie dachu i ścian silosu, podlega sezonowym zmianom, chyba że składowane ziarno jest przewietrzane. W ziarnie nieprzewietrzonym, w trakcie długotrwałych zmian temperatury otaczającego powietrza, powstają znaczące różnice temperatury pomiędzy ziarnem przy suficie i ścianach a ziarnem znajdującym się w środku masy. To zróżnicowanie temperatury w zależności od warstwy, charakterystyczne dla nieprzewietrzanego ziarna nosi nazwę gradientu temperatury. Gradient temperatury w przechowywanym ziarnie wywołuje ruch wilgotności w masie. Sprawia, że część ziarna może tracić wilgotność, podczas gdy w innej części może jej wilgotność wzrastać.

Jednym z mechanizmów przepływu wilgotności w masie ziarna jest dyfuzja z obszarów o wyższym ciśnieniu pary do obszarów o niższym ciśnieniu. Woda migruje „w dół” gradientu temperatury, od wyższego ciśnienia pary do niższego i przemieszcza się od cieplejszego ziarna w kierunku chłodniejszych części masy. Zebrane latem ziarno, które przechowywane jest przez zimę bez przewietrzania, na wiosnę może być zepsute (szczególnie w silosach metalowych). Gdy w czasie zimy gradient temperatury zostanie ukształtowany, wilgotność przesuwa się z ciepłego wnętrza masy do chłodnych, zewnętrz-



Monitorowanie temperatury i wilgotności względnej to dwa bardzo ważne aspekty zarządzania ziarnem w silosie. Tempo zmian temperatury przekraczające 5,5° C na tydzień wskazuje, że w silosie zbożowym doszło do zepsucia ziarna.

nych warstw. W pobliżu środka silosu, na powierzchni ziarna, prądy powietrza przyspieszają dyfuzję wilgoci. Natomiast na wosnę, metalowy dach powoduje tzw. „efekt piekarnika”, który szybko wysusza powierzchnię ziarna. Niemniej jednak, warstwy ziarna kilka centymetrów poniżej nadal pozostają wilgotne i są wystarczająco ciepłe do rozwoju pleśni.

UWAGA: Zimą ziarno przechowywane w silosie bez przewietrzania może być narażone na bezpośredni wpływ niekontrolowanej migracji wilgoci

RUCH POWIETRZA W SILOSIE

Dyfuzja jest procesem powolnym, który występuje na relatywnie małych przestrzeniach, w porównaniu do skutków, powodowanych przez prądy powietrzne w masie ziarna. Silosy metalowe z blachy gładkiej i falistej mają nieuszczelną strukturę z otwartymi przestrzeniami u podstawy, dookoła drzwi i przy dachu, która ułatwia ruch powietrza. Prądy powietrza przechodzące przez masę przechowywanego ziarna zazwyczaj są rezultatem jednego lub kilku procesów:

- Efektu komina, wynikającego z różnicy pomiędzy gęstością powietrza wewnątrz i na zewnątrz silosu,
- Efektów ruchu powietrza (wiatru), będących rezultatem przepływającego z dużą prędkością powietrza przy powierzchni dachu,
- Różnic wyporu hydrostatycznego (prądy konwekcyjne), w efekcie różnic w gęstości powietrza w różnych częściach masy ziarna wynikających z gradientu temperatury.

Monitorowanie temperatury i wilgotności względnej to dwa bardzo ważne aspekty zarządzania ziarnem w silosie. Tempo zmian temperatury przekraczające 5,5°C na tydzień wskazuje, że w silosie zbożowym doszło do zepsucia ziarna. Szybkość oddychania ziaren wzrasta wykładniczo, gdy ziarna zaczynają się psuć, a wewnątrz silosu rozwijają się pleśń/owady. Zwiększenie oddychania wytwarza dodatkową wilgoć, co pogarsza sytuację. Dlatego ciągłe monitorowanie temperatury i wilgotności względnej wewnątrz silosu zbożowego jest bardzo ważne dla zapewnienia bezpieczeństwa ziarna.

POSTĘP TECHNOLOGICZNY

Postęp technologiczny w projektowaniu i produkcji silosów sprawia, że poprawia się ich jakość, wzrasta bezpieczeństwo konstrukcyjne oraz trwałość sprzętu. Początkowe konstrukcje silosów metalowych cechowała ograniczona pojemność, która była niższa niż w przypadku silosów betonowych. Dzisiejsze konstrukcje, typoszeregi silosów zapewniają przechowywanie surowców w ilościach od 5 do nawet 20 000 ton. To powoduje, że producenci silosów są w stanie zaspokoić różnorodne potrzeby nabywców co do ich pojemności. Pod względem konstrukcyjnym silosy spełniają wysrubowane wymagania względem wytrzymałości mechanicznej jak również jakościowej poprzez stosowanie m.in. blach ocynkowanych czy powlekanych, odpornych na korozję. Krajowe silosy stosowane są do magazynowania przede wszystkim ziarna zbóż i nasion rzepaku.

Obecne konstrukcje silosów zapewniają aktywne przewietrzanie surowca w trakcie przechowywania. System wentylacji najczęściej składa się z wentylatora (dla dużych pojemności silosów – zespołu wentylatorów), kanałów powietrznych, systemu podłogi sitowej, kominków wentylacyjnych. Właczane powietrze z otoczenia (w przypadku użycia nagrzewnic – lekko podgrzanego) rozprowadzane jest



Dzięki postępowi technologicznemu silosy mogą teraz zawierać czujniki i systemy monitorowania umożliwiające śledzenie temperatury, wilgotności i innych warunków środowiskowych

kanalami i przez podłogę sitową wprowadzane do surowca zmagazynowanego w silosie.

Dzięki postępowi technologicznemu silosy mogą teraz zawierać czujniki i systemy monitorowania umożliwiające śledzenie temperatury, wilgotności i innych warunków środowiskowych podnosząc jakość i bezpieczeństwo przechowywanych surowców. Czujniki silosów zapewniają precyzyjne, ciągłe pomiary w celu bardziej efektywnego wykorzystania silosu przy użyciu metod dotykowych lub bezkontaktowych. Chociaż oba typy czujników generują dokładne dane, idealny system dla silosu będzie zależał od konfiguracji i preferowanej strategii integracji.

Sztuczna inteligencja (AI) rewolucjonizuje rynek silosów zbożowych, zwiększając wydajność i obniżając koszty operacyjne. Systemy oparte na sztucznej inteligencji monitorują i kontrolują warunki środowiskowe wewnątrz silosów, zapewniając optymalny poziom temperatury i wilgotności podczas przechowywania ziarna. Pomaga to utrzymać jakość przechowywanego ziarna i minimalizuje ryzyko zepsucia się i inwazji szkodników. Dodatkowo sztuczna inteligencja przewiduje potencjalne problemy w silosach na podstawie danych historycznych i monitorowania w czasie rzeczywistym, umożliwiając proaktywną konserwację i skracając przestoje. Sztuczna inteligencja dodatkowo automatyzuje proces załadunku i rozładunku zboża, ograniczając pracę ręczną i zwiększając efektywność operacyjną.

Przechowywanie ziarna w metalowych silosach zbożowych jest najbardziej opłacalnym, ekonomicznym i długoterminowym systemem przechowywania. Ziarno w silosie można bardzo efektywnie monitorować w czasie rzeczywistym pod kątem jego jakości i ilości. W systemie przechowywania silosów rozsypywanie się i psucie się ziarna jest minimalne. Inne zalety przechowywania ziarna w silosie obejmują szybką obsługę ziarna, skuteczną fumigację, mniejszą zależność od siły roboczej i niskie koszty operacyjne. Silosy stały się najlepszym rozwiązaniem, jeśli chodzi o zachowanie właściwej jakości ziarna przez dłuższy okres.

Dr inż. Lesław Janowicz,
Ekspert Polskiego Związku
Producentów Roślin Zbożowych

Suszenie zboża

PODSTAWY PRZECHOWYWANIA ZIARNA ZBÓŻ

Proces suszenia ziarna jest najczęściej stosowaną operacją technologiczną, umożliwiającą długotrwałe przechowywanie zebranego plonu. Suszenie jest zatem metodą konserwacji ziarna, który poza podstawowym zadaniem jakim jest utrzymanie parametrów jakościowych wpływa również na przebieg jego dalszego wykorzystania takich jak przemiał lub siew. Proces suszenia jest procesem związanym z wymianą masy i ciepła, prowadzący w końcu do obniżenia zawartości wody w ziarnie do poziomu umożliwiającego bezpieczne przechowywanie. Wilgotność składowania ziarna zależy od gatunku rośliny i wynosi: 8,5–13,0% dla ryżu, 8,0–13,5% dla kukurydzy, 8,0–15% dla fasoli i 10–14% dla pszenicy i jęczmienia.

Obniżenie zawartości wilgoci jest konieczne, aby zapobiec psuciu się ziarna, które jest głównie spowodowane przez pleśń i mikroorganizmy. Od momentu zbioru ziarna o wilgotności powyżej 14%, rozpoczyna się wyścig o zmniejszenie strat. Warto nadmienić, że na procesy obniżenia jakości wpływ ma wilgotność oraz temperatura ziarna. Aktywność pleśni i mikroorganizmów jest znacznie zmniejszona przy obniżeniu temperatury ziarna poniżej 15°C. Jest to informacja, która może mieć znaczenie w przypadku braku odpowiedniej wydajności stosowanych urządzeń suszarniczych.

TECHNOLOGIA SUSZENIA

Suszenie pochłania dużą część (od 27 do 70%) zużycia energii podczas przetwarzania ziarna, wykorzystywaną głównie do podgrzewania powietrza suszącego. Dlatego w zależności od przeznaczenia i wilgotności początkowej ziarna temperaturę procesu suszenia można podzielić na 3 zakresy technologiczne:

1. suszenie niskotemperaturowe, które wykorzystuje nieogrzewane powietrze lub powietrze ogrzane o maksymalnie 8°C,
2. suszenie średnotemperaturowe z ogrzwanym powietrzem, które utrzymuje temperaturę jądra ziarna poniżej 43°C dla ziaren nasion i 60°C dla ziaren przeznaczonych do mielenia i dalszego przetwarzania,
3. suszenie wysokotemperaturowe podgrzanym powietrzem, które utrzymuje temperaturę ziarna poniżej 82°C, stosowane dla ziarna przeznaczonego na paszę
4. suszenie kombinowane, które wykorzystuje zarówno niską, jak i wyższą temperaturę powietrza w celu zmniejszenia zawartości wilgoci w ziarnie do bezpiecznego dla przechowywania poziomu.

W tabeli 1 przedstawiono zalecane wartości temperatur suszenia dla wybranych nasion. Warto podkreślić znaczenie równomiernej i stałej temperatury podczas całego procesu suszenia. Pozwala to uniknąć powstawania gorących punktów i niejednorodności wilgotności ziarna. Fundamentalne znaczenie ma zatem wybór punktu pomiaru temperatury, który, jeśli nie zostanie prawidłowo wyznaczony, może spowodować znaczne zakłócenie przebiegu suszenia.

Otrzymanie zalecanej wilgotności ziarna wymaga stosowanie kilku prostych zaleceń technologicznych:

- Dostosować temperaturę suszenia do rodzaju przeznaczenia. Różne rodzaje zbóż mają różne optymalne zakresy temperatur suszenia. Na przykład pszenica zazwyczaj wymaga zakresu temperatur 60–100°C, a jęczmień 40–49°C jeżeli przeznaczony jest do produkcji słodu lub ok 80°C przy przeznaczeniu na pokarm dla ludzi lub zwierząt.
- Kontrola zawartość wilgoci w ziarnach umożliwia osiągnięcie poziomów wilgotności ziarna, które są bezpieczne do przechowywania, zwykle około 12–15%, bez ryzyka przesuszenia lub niedosuszenia.
- Temperatura suszenia powinna być dostosowana do początkowej zawartości wilgoci w ziarnie i szybkości, z jaką ma ono zostać doprowadzone do pożądanego poziomu wilgotności.
- Utrzymanie równej wilgotności w całej masie suszonego ziarna. Nierównomierne suszenie może prowadzić do nadmiernego wysuszenia części, powodując uszkodzenie ziarna, podczas gdy niedostatecznie wysuszone części mogą powodować psucie się podczas przechowywania.

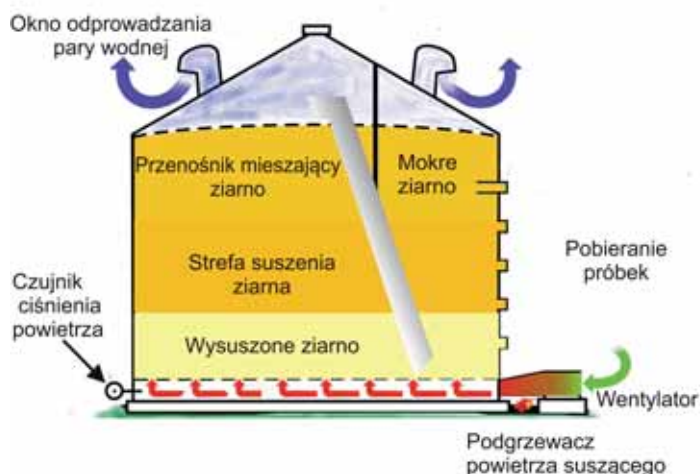
Podczas suszenia, szczególnie ziarna nasiennego istotnym jest zwrócenie uwagi na stabilność temperatury powietrza suszącego, dlatego należy zawsze:

- Unikać przegrzania. Wysokie temperatury mogą uszkadzać białka i skrobię, zmniejszać zdolność kiełkowania i zwiększać łamliwość ziarna.
- Należy regularnie kalibrować i serwisować suszarnię. Regularnie sprawdzając dokładność pracy czujników temperatury i systemów sterowania.

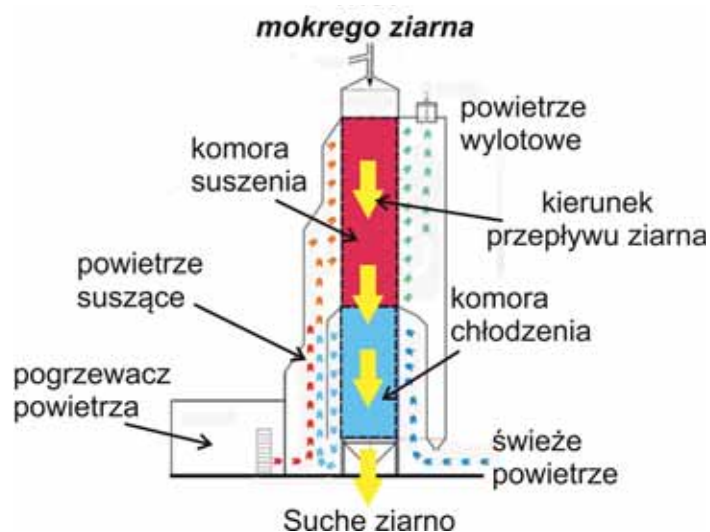
Należy zawsze mieć świadomość, różnicy między temperaturą powietrza suszącego, która jest ustawiana na palniku, a temperaturą, jaką mogą osiągnąć poszczególne ziarna zboża

Tabela 1. Graniczna temperatura suszenia ziarna.

Zboże	Przeznaczenie	Maksymalna temperatura jądra ziarna (°C)
Kukurydza	Nasienna (siew)	38–43
	Przemiał	40–60
	Pasza	71–82
Pszenica	Nasienna (siew), wilgotność początkowa < 24%	43
	Nasienna (siew), wilgotność początkowa > 24%	49
	Mąka	49–66
	Pasza	74–85
	Słodowy	41–49
Jęczmień	Pasza	74–85
	Owies	Mąka/Pasza
Soja	Nasienna	38
	Do wyłaczania	49
Rzepak	Do wyłaczania	41–49
Słonecznik	Żywność	60–77
	Do wyłaczania	77–91



Ryc. 1. Suszarnia komorowa z mieszaniem



Ryc. 2. Suszarnia o przepływie poprzecznym powietrza

przepływające przez kolumnę suszarni. To NIE są te same temperatury!

Ze względu na oszczędność energii, coraz bardziej popularne staje się suszenie wieloetapowe. Polega ono na suszeniu ziarna do wilgotności ok. 20% za pomocą powietrza podgrzanego do temperatury ok. 80–90 °C, przy czym ziarno nie powinno nagrzewać się powyżej 55 °C. Osiągnięcie wilgotności 20% pozwala na podniesienie temperatury powietrza suszącego do 110 °C, by po osiągnięciu 15–18% wilgotności ziarna zrezygnować z suszenia gorącym powietrzem i rozpocząć proces schładzania ziarna za pomocą zimnego powietrza. Dzięki przepływowi zimnego powietrza, wilgotność ziarna spadnie do 12–14% umożliwiając jego dalsze przechowywanie.

Pewną uproszczoną odmianą suszenia wieloetapowego jest suszenie dwuetapowe. Polega ono na suszeniu ziaren gorącym powietrzem o temperaturze ok 80–90 °C do wilgotności 18% i następnie przez kilka godzin przewiewanie go zimnym powietrzem. Przewietrzanie zimnym powietrzem umożliwi obniżenie wilgotności ziarna do wymaganych 13–14%.

SUSZARNIE RODZAJE, BUDOWA

Chociaż ziarno można suszyć naturalnie, zajmuje to jednak dużo czasu i wymaga znacznej powierzchni. Dlatego wprowadzone są suszarnie mechaniczne, których konstrukcje zdeteminowane są przez trzy wielkości opisujące proces suszenia:

- temperaturę procesu suszenia – wydajność suszarni wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, ale w wyższych temperaturach może dochodzić do uszkodzeń ziarna (tabela 1),
- natężenie przepływu powietrza przez suszarnię – wysoka prędkość przepływu powietrza zwiększa wydajność suszenia, ale zmniejszając sprawność energetyczną suszarni,
- czas suszenia – długi czas suszenia w niskich temperaturach zmniejsza problemy z jakością ziarna, ale obniża wydajność suszenia.

Z punktu widzenia konstrukcji i technologii wymiany suszonego ziarna, suszarnie można podzielić na suszarnie porcjowe i suszarnie przepływowe.

Suszarnie porcjowe (komorowe) – mogą być zintegrowane z silosami służącymi do przechowywania ziarna i łączą w sobie funkcje suszenia i przechowywania. Prostota pracy, w której ziarno jest przechowywane w silosie, a system suszenia za pomocą dmuchawy przepycha zimne lub ogrzane powietrze przez ziarno w celu zmniejszenia wilgotności. Podstawową korzyścią tego rozwiązania jest oszczędność miejsca i minimalizacja obsługi dzięki jednej komorze służącej do suszenia i przechowywania. Jest to rozwiązanie idealne dla rolników lub zakładów o ograniczonej przestrzeni lub tych, którzy szukają usprawnionego rozwiązania do suszenia i przechowywania. Jest to powszechnie stosowane rozwiązanie do suszenia ziarna w warunkach niskiej wilgotności i umiarkowanych temperatur.

Opracowanych jest wiele rozwiązań suszarni porcjowych, zarówno w wykonaniu stacjonarnym jak i przewoźnym. W przypadku suszarni porcjowych, można je podzielić ze względu na sposób przemieszczania ziarna w czasie suszenia, na systemy z nieruchomym złożem ziarna i wyposażone w systemy mieszania ziarna.

Suszarnie z nieruchomym złożem suszącym produkowane są jako: cienkowarstwowe, grubowarstwowe, cienkowarstwowe z pionową kolumną i suszarnie promieniowe o okrągłej konstrukcji. Wadą suszarni statycznych jest nadmierne suszenie ziarna znajdującego się najbliższej perforowanej ściany przez którą przepływa gorące powietrze. Ziarno umieszczone w tym miejscu, najpierw traci zawartą w nim wodę oddając ją gorącemu powietrzu, jednocześnie obniżając temperaturę powietrza suszącego. W ten sposób gorące powietrze zmniejsza swoją temperaturę i wydajność odbierania wilgoci podczas przemieszczania się przez złożę ziarna. Różnica w wilgotności ziarna między warstwą znajdującą się najbliższej gorącego powietrza a warstwą zewnętrzną zmienia się w zależności od grubości ziarna, temperatury gorącego powietrza i prędkości przepływu powietrza.

Suszarnie mieszające zostały zaprojektowane w celu wyeliminowania problemu nierównomiernego suszenia ziarna w warstwie nieruchomej. Konstrukcja suszarni zazwyczaj składa się z wysokiej pionowej kolumny suszącej, ułatwiającej operację mieszania. Mieszanie uzyskuje się poprzez przemieszczanie warstwy ziarna znajdującej się w pobliżu perforowanej ściany przepuszczającej po-

Tabela 2. Średni wpływ typu suszarni na temperaturę powietrza suszącego, maksymalną temperaturę ziarna i odsetek pękniętych ziaren kukurydzy.

Typ suszarni	Suszenie powietrzem Temperatura °C	Maksymalne ziarno Temperatura °C	Odsetek pękniętych ziaren kukurydzy (%)
Przepływ poprzeczny	80–110	80–110	70–85
Przepływ mieszany	100–130	70–100	40–55
Przepływ współbieżny	200–285	60–80	30–45

Źródło: Montross et al. (1994)

wietrze suszące do przestrzeni najbardziej oddalonej od tej ściany. Zwykle wystarczą 4 cykle aby umożliwić równomierne wysuszenie ziarna.

Suszarnie przepływowe. Termin suszenie przepływowe odnosi się do sytuacji, w której ziarno w sposób ciągły przepływa przez suszarnię bez zatrzymywania się. Sama suszarnia ma te same cechy, co suszarnia komorowa z systemem mieszania. Konstrukcja suszarni wymaga zaplanowania kilku pojemników buforowych do przechowywania ziarna wychodzącego z komory suszenia. Operator suszarni o przepływie ciągłym musi posiadać wiedzę na temat zasad sterowania suszeniem ziarna, umożliwiającą zaprogramowanie suszarni tak, aby działała z maksymalną wydajnością. System suszenia ciągłego oferuje najniższe koszty operacyjne w porównaniu z systemami suszenia komorowego. Ponadto uzyskuje się jednolitą wilgotność w ziarnie po suszeniu, a wydajność suszenia suszarki o przepływie ciągłym jest wyższa niż suszarki komorowej mieszającej ziarno, jeśli porównamy te same wielkości suszarni warunki suszenia.

Suszenie w przepływie ciągłym jest zwykle stosowane w stosunkowo dużych kompleksach zbożowych. System może obsłużyć dużą ilość ziarna i oferuje większą elastyczność operacji suszenia. Mokre ziarno po oczyszczeniu jest umieszczane w suszarce ciągłej, która w sposób ciągły odprowadza ziarno do pojemników buforowych. Zawartość wody w ziarnie po jednorazowym przejściu przez suszarnię może zostać zmniejszona o 2 do 4% w zależności od wejściowej wilgotności ziarna, temperatury powietrza suszącego i natężenia przepływu powietrza. Ziarno jest przetrzymywane w zbiornikach buforowych przez 6 godzin lub dłużej, co pozwala na wyrównanie wilgotności w jądrze. Należy uważać aby nie suszyć ziarna zbyt szybko. Za wysokie tempo redukcji wilgotności powoduje powstawanie pęknięć lub szczelin w ziarnie. Częściowo wysuszone ziarno po hartowaniu w pojemniku buforowym jest zawracane do suszarni, aż do osiągnięcia pożądanej wilgotności. Ostatnim etapem przed przeniesieniem ziarna do magazynu jest faza chłodzenia. Ma to na celu obniżenie temperatury ziarna do temperatury otaczającego powietrza. Ziarno nadal oddaje wilgoć, dopóki otaczające powietrze nie osiągnie warunków równowagi z ciśnieniem pary wewnątrz ziarna. Jednak dalsze intensywne obniżenie temperatury powietrza suszącego, powoduje kondensację wody na powierzchni ziarna, co jest niezwykle niebezpiecznym zjawiskiem powodującym powstanie korzystnych warunków dla rozwoju pleśni.

KIERUNEK PRZEPŁYWU POWIETRZA PRZEZ ZŁOŻE W SUSZARNIACH PRZEPŁYWOWYCH.

Generalnie konstrukcje przemysłowych suszarni o przepływie ciągłym, wykorzystują trzy kierunki przepływu powietrza. Najbardziej popularne są suszarnie o przepływie krzyżowym (poprzecz-

nym), następnie o przepływie mieszanym i przepływie współbieżnym. Są one klasyfikowane zgodnie z kierunkami przepływu ziarna i powietrza przez suszarnię.

Każdy typ ma przewagę nad dwoma innymi w odniesieniu do niektórych kryteriów. Jednak żadna suszarnia, ani żaden typ suszarni, nie jest najlepszy dla każdej operacji suszenia ziarna o dużej wydajności.

W suszarce z przepływem krzyżowym powietrze i ziarno poruszają się prostopadle do siebie, podczas gdy w suszarce z przepływem współbieżnym poruszają się równolegle. W suszarni o przepływie mieszanym część powietrza przepływa z ziarnem (równolegle), pod ziarno (przeciwbieżnie) i prostopadle do ziarna (przepływ krzyżowy). Ważne jest, aby zdać sobie sprawę, że te cechy mają znaczący wpływ na wydajność suszenia, efektywność energetyczną, jakość ziarna i temperaturę ziarna.

Jednostopniowa konwencjonalna suszarnia o przepływie poprzecznym wykorzystuje dwa wentylatory: jeden na etapie ogrzewania i jeden na etapie chłodzenia. Powietrze z obu wentylatorów jest odprowadzane bezpośrednio do atmosfery po przejściu przez kolumnę ziarna. Wiele suszarni jednostopniowych umożliwia ustawienie jednej sekcji nadmuchu jedna na drugiej, co pozwala na jednoczesną pracę kilku wentylatorów i palników. Podstawową zaletą wielu etapów suszenia jest praca każdego palnika przy innej temperaturze powietrza suszącego. W górnej części suszarni można stosować wyższe temperatury powietrza, ponieważ napływające mokre ziarno są głównie ogrzewane, a suszenie odbywa się w niewielkim stopniu. Im dalej w dół kolumny suszącej, tym niższa powinna być temperatura powietrza suszącego, aby uniknąć przekroczenia maksymalnej temperatury ziarna (patrz tabela 1). Wiele etapów suszenia w pionowej suszarni wieżowej z tylko jednym zespołem wentylator-palnik można utworzyć, przerywając proces suszenia poprzez umieszczenie sekcji odpuszczania lub urządzeń obrotowych wzdłuż kolumny suszącej. Choć jest to korzystne, podejście to nie pozwala na kontrolowaną zmianę temperatury powietrza suszącego na różnych etapach.

Suszarnie zbożowe o dużej wydajności zwykle zawierają sekcję chłodzenia (z wyjątkiem sytuacji, gdy ziarno ma być chłodzone po procesie suszenia w wysokiej temperaturze poprzez suszenie w pojemniku lub silosie). Celem chłodnicy jest obniżenie temperatury suszonego ziarna do 3–6°C powyżej temperatury otoczenia. W zależności od szybkości przepływu ziarna przez suszarnię, ziarno traci 0,5–1% wilgoci w procesie chłodzenia. Względny kierunek przepływu powietrza i ziarna w sekcji chłodzenia jest taki sam jak w sekcji suszenia z przepływem krzyżowym.

dr hab. Adam Ekielski
prof. WULS/SGGW

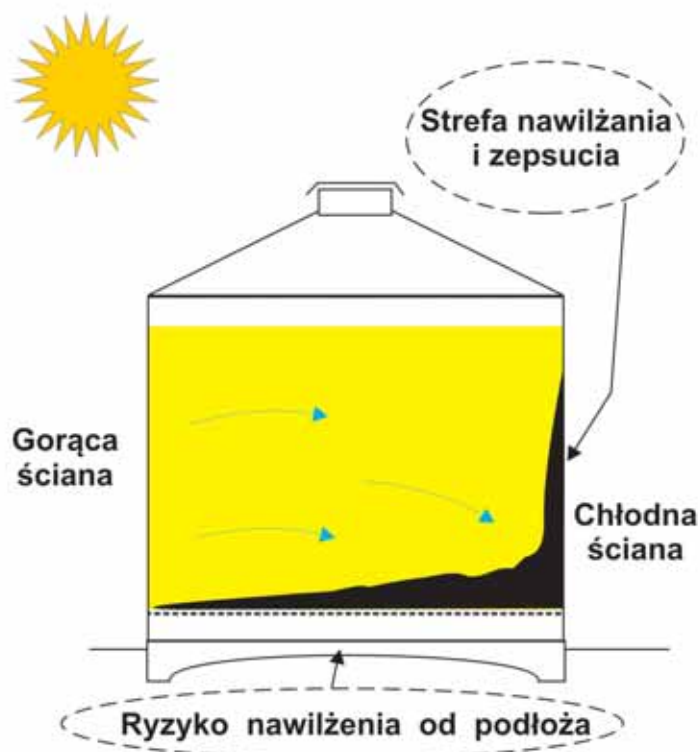
Migracja wilgoci w silosie – wentylacja ziarna

MIGRACJA WILGOCI W MASIE ZIARNA LUB NASION PODCZAS DŁUGOTRWAŁEGO PRZECHOWYWANIA W SILOSIE BEZ WENTYLACJI

W czasie długotrwałego przechowywania ziarna w silosie bez wentylacji dochodzi do gromadzenia się wilgoci w chłodnych miejscach partii ziarna, albo w dolnej lub górnej warstwie ziarna, która „złapała” wilgoć z powietrza.

Rolnicy sygnalizowali następujący problem: przy opróżnianiu silosu wiosną zauważali zawilgocenie i zapleśnienie części ziarna. Pytali czym to jest spowodowane. Mówili, że dobrze wysuszyli i schłodzili ziarno po żniwach, ale później już nie wentylowali ziarna.

Pielęgnacja przechowywanego ziarna po dobrze przeprowadzonej konserwacji poźniowej jest ważna dla utrzymania jego jakości. Po prawidłowym wysuszeniu i schłodzeniu ziarna nie można o nim zapomnieć na długie miesiące. Niektórzy uważają, że w masie ziarna nie będą zachodziły żadne zmiany. Są w błędzie. Teoretycznie tak mogłoby być, gdyby warunki przechowywania nie ulegały zmianie. Niestety, warunki te zmieniają się jako rezultat zmian temperatury i wilgotności względnej powietrza otoczenia.



Ryc. 1. Ryzyko nawilżenia ziarna w czasie długotrwałego przechowywania bez wentylacji: różnica temperatury w różnych częściach masy ziarna powoduje, że wilgoć przemieszcza się w ekosystemie ziarna składowanego w grubej nieruchomej warstwie (strzałki).

W długookresowym przechowywaniu duże znaczenie ma obniżanie się temperatury otoczenia zimą i jej wzrost wiosną w porównaniu do temperatury ziarna. Szczególnie niebezpieczne są różnice temperatury spowodowane ogrzewaniem południowych ścian magazynu promieniowaniem słonecznym. Typową sytuację przedstawiono na rycinie 1.

W sytuacji, gdy wewnątrz składowanej masy ziarna powstanie różnica temperatury większa niż około 5°C, w przestrzeniach międzyziarnowych obserwuje się powolny ruch powietrza. Powietrze z cieplejszych warstw ziarna przemieszcza się w kierunku warstw chłodniejszych niosąc ze sobą niewielką ilość wilgoci, którą, skrótno ujmując, oddaje ziarnu w miejscach schładzania. Rezultat jest taki, że cieplejsze warstwy ziarna są nieznacznie suszone, zaś chłodniejsze nawilżane. W nawilżanych warstwach ziarna tworzą się niebezpieczne warunki, które sprzyjają uaktywnieniu procesów życiowych, m.in. toksynotwórczych pleśni. Jeżeli tego zjawiska nie wyeliminuje się w porę, prowadzi to do zepsucia lub obniżenia jakości nawilżonych warstw ziarna. Drugą przyczyną nawilżenia i zapleśnienia dolnych warstw ziarna może być zawilgocenie przestrzeni pod perforowaną podłogą, na której leży masa ziarna. Zawilgocenie to może być spowodowane zaciekaniami wody lub złą izolacją podłoża.

Zachodzi pytanie, jak postępować z masą ziarna, aby uniknąć zawilgocenia podczas długiego okresu przechowywania. Pielęgnacja ziarna w czasie przechowywania polega na okresowym jego przewietrzaniu w bezpieczny sposób. Bezpieczne przewietrzanie ziarna w tym wypadku musi być:

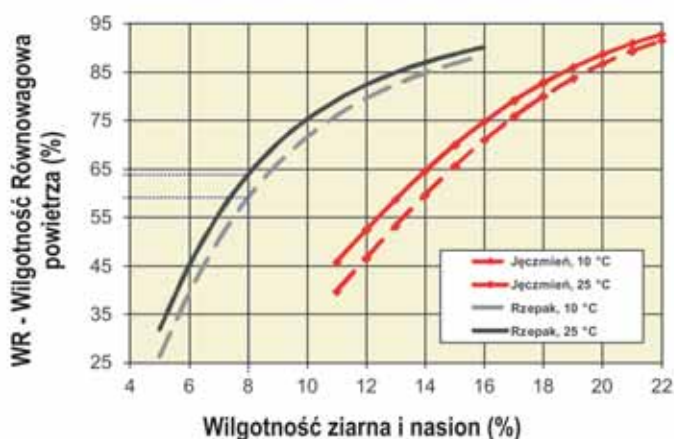
- powolne (szczególnie powolne, gdy wdmuchujemy powietrze cieplejsze od ziarna)
- kontrolowane odpowiednim sterownikiem do wentylacji ziarna tak, by nie wdmuchiwać do warstwy ziarna powietrza o wilgotności względnej, przy której powietrze nawilża ziarno. Więcej o tym w następnych akapitach.

MIGRACJA WILGOCI W SILOSIE PODCZAS WYMUSZONEJ WENTYLACJI ZIARNA LUB NASION

Podczas źle kontrolowanej wentylacji ziarna lub nasion w silosie dochodzi do transferu wilgoci od wdmuchiwanego powietrza do ziarna.

Rolnicy pytają: jaką wilgotność powinno mieć powietrze, by można nim bezpiecznie wentylować ziarno? Najkrócej można odpowiedzieć tak: wilgotność względna wdmuchiwanego powietrza do warstwy ziarna lub nasion powinna być niższa od tzw. **Wilgotności Równowagowej powietrza** nazywanej w skrócie **WR**. Dlaczego? Aby nie nawilżać ziarna lub nasion.

Wyobraźmy sobie, co dzieje się wewnątrz warstwy ziarna podczas wentylacji. Między każdym pojedynczym ziarniakiem a po-



Ryc. 2. WR – wilgotność równowagowa powietrza dla ziarna jęczmienia i nasion rzepaku; dla nasion rzepaku o wilgotności 8% (w j. ang. % w.b.) WR = 63% w temperaturze 25°C i zmniejsza się w temperaturze 10°C do WR = 59%.



Ryc. 3. Ryzyko ruchu wilgoci od powietrza do ziarna jęczmienia i nasion rzepaku czyli ryzyko ich nawilżania podczas wentylacji powietrzem atmosferycznym: wilgotność względna powietrza podczas mokrych żniw jest najczęściej wyższa od WR, zarówno dla jęczmienia o wilgotności 14,5% jak i rzepaku o wilgotności 7,5% o temperaturze powietrza atmosferycznego.

wietrzem w przestrzeniach międzyziarnowych następuje ciągły przepływ wilgoci. Gdy powietrze w przestrzeniach międzyziarnowych ma odpowiednio niską wilgotność względną, wilgoć przepływa od ziarna do powietrza. Jeżeli wilgotność powietrza jest wysoka i wyższa od poziomu krytycznego, następuje przepływ wilgoci z powietrza do ziarniaków i niebezpieczne nawilżanie ziarna. Ten poziom krytyczny to wilgotność równowagowa powietrze - ziarno, albo krócej wilgotność równowagowa powietrza WR.

Gdy wilgotność względna powietrza w przestrzeniach międzyziarnowych jest równa wilgotności WR, mamy do czynienia z równowagą suszarniczą. Wtedy wilgotność ziarna się nie zmienia.

Od czego zależy wilgotność równowagowa powietrza? Przede wszystkim od aktualnej wilgotności, temperatury i wewnętrznej budowy ziarniaka. Ziarniaki są ciałami porowatymi o strukturze mikropilarnej. Obserwuje się różnice w tej strukturze między różnymi rodzajami ziarna. Odpowiednie tabele lub wzory matematyczne podają wartości wilgotności równowagowej powietrza dla różnych rodzajów ziarna zbóż i innych surowców roślinnych. Na



Podczas źle kontrolowanej wentylacji ziarna lub nasion w silosie dochodzi do transferu wilgoci od wdmuchiwanego powietrza do ziarna

rycynie 2 przedstawiono wykresy wilgotności równowagowej powietrza dla ziarna jęczmienia i nasion rzepaku w dwóch różnych temperaturach, 10°C i 25°C.

Porównajmy: wilgotność równowagową powietrza WR z wilgotnością względną powietrza w polskim klimacie w okresie późnym. Na rycinie 3 przedstawiono zmiany wilgotności względnej powietrza atmosferycznego na tle linii wilgotności równowagowej powietrza, którą obliczano dla ziarna jęczmienia o bezpiecznej przechowalniczej wilgotności 14,5% oraz 7,5% dla nasion rzepaku o temperaturze równej temperaturze powietrza atmosferycznego.

Z wykresu na rycinie 3 wynika, że wilgotność względna powietrza atmosferycznego jest prawie cały czas wyższa od wilgotności równowagowej powietrza WR. Wtedy występuje ryzyko nawilżania ziarna. Wilgotność względna powietrza atmosferycznego wykreślono na podstawie danych meteorologicznych ze stacji Poznań-Ławica z okresu późnego w 1977 roku (od 2 VIII). Był to typowy rok mokrych żniw.

Czy w latach suchych też można niebezpiecznie nawilżyć ziarno? Pytanie to wydaje się być postawionym nieco na wyrost, jednak w latach suchych również występują okresy (zwykle nocami), kiedy wilgotność względna powietrza wzrasta powyżej krytycznego poziomu wilgotności równowagowej. Ponadto, łatwo można nawilżyć ziarno wdmuchując powietrze cieplejsze od ziarna o wilgotności względnej bliskiej wilgotności równowagowej. Wilgotność względna takiego powietrza wzrośnie po ochłodzeniu w warstwach ziarna i szybko może przekroczyć poziom wilgotności równowagowej. Przy znacznym oziębieniu powietrza może dojść do kondensacji pary wodnej w magazynie, co zostanie wyjaśnione w poniższych akapitach. A trzeba wiedzieć, że łatwiej jest wprowadzić wilgoć do masy ziarna, niż ją z niej usunąć. Zawilgocenie ziarna stwarza idealne warunki do rozwoju wszelkich żywych organizmów, na przykład toksynotwórczych pleśni.

MIGRACJA WILGOCI W SILOSIE POWYŻEJ GÓRNEJ WARSTWY ZIARNA LUB NASION – RYZYKO KONDENSACJI PARY WODNEJ

Niebezpieczne skraplanie się pary wodnej w silosie występuje przy próbie intensywnego suszenia ziarna lub nasion poprzez wdmuchiwanie nadmiernie podgrzanego powietrza.

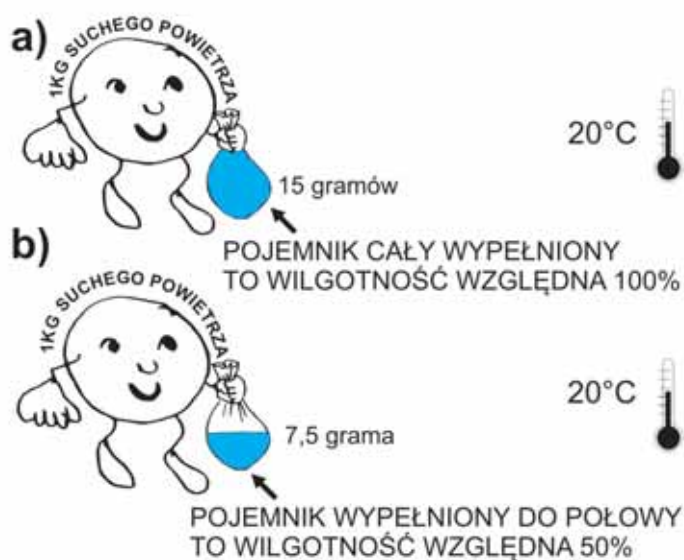
Rolnicy sygnalizowali następujący problem: gdy intensywnie suszyli nasiona w silosie zauważali, że ponad górną warstwę nasion na ścianie silosu powstawały kropelki wody. Skroplona para wodna spływała w dół nawilżając nasiona.

Skraplanie się pary wodnej, mówimy też KONDENSACJA PARY WODNEJ to często obserwowane zjawisko w otaczającym nas środowisku. Z fizyki wiemy, że jest to przechodzenie wody znajdującej się w powietrzu ze stanu gazowego w stan ciekły. Do kondensacji dochodzi wszędzie tam, gdzie powietrze zostanie schłodzone poniżej temperatury krytycznej (nazywanej temperaturą punktu rosy). Jeżeli powietrze jest w stanie bliskim nasycenia parą wodną, wystarczy schłodzić je o kilka stopni Celsjusza, by doszło do kondensacji. Oto najprostszy przykład: wykraplanie się pary wodnej z powietrza wydychanego z płuc przez każdego z nas na gładkiej powierzchni, na przykład lusterka, okularów itp. Zjawisko kondensacji pary wodnej tłumaczy się często w technice przy użyciu wykresu Molliera-Ramzina. Aby wyjaśnić to zjawisko posłużymy się także obrazami.

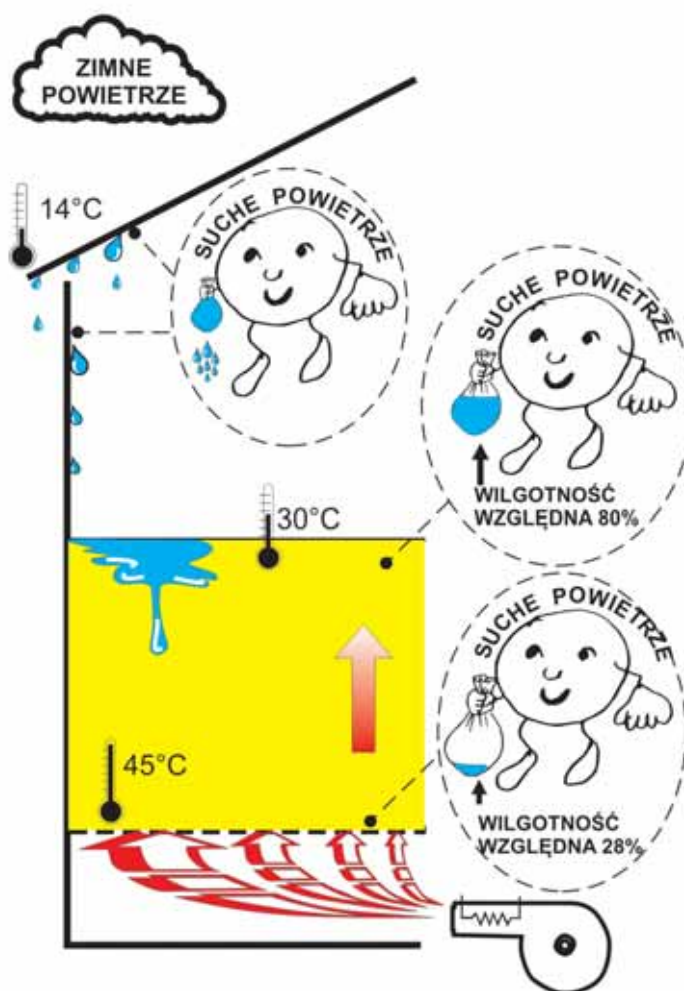
Powietrze wilgotne składa się z powietrza suchego i pary wodnej. Mówimy, że suche powietrze jest nośnikiem pary wodnej. Na rycinach 4 i 5 wilgotne powietrze przedstawiono tak, że suche powietrze niesie pojemnik na parę wodną (nie zachowano właściwych proporcji i oczywiście w rzeczywistości powietrze suche zmieszane jest z parą wodną, a nie tak jak na tych rysunkach rozdzielone). Pojemnik na parę wodną ma tę właściwość, że rozszerza się wraz ze wzrostem temperatury i kurczy, gdy temperatura opada. Jeden kilogram suchego powietrza w temperaturze 40°C może unieść 50 gramów pary wodnej, a w 0°C tylko 4 gramy. (Można tutaj dodać, że każdy kilogram powietrza nasyconego parą wodną w temperaturze 40°C zajmuje 1 m³, a w 0°C tylko 0,8 m³).

Uwaga: gdy powietrze niesie maksymalną ilość pary wodnej, jaką może unieść w danej temperaturze (tzn. pojemnik na parę jest wypełniony) mówimy, że powietrze jest w stanie nasycenia lub że wilgotność względna powietrza wynosi 100%.

WILGOTNOŚĆ WZGLĘDNA POWIETRZA. Jest to stosunek masy pary wodnej zawartej w wilgotnym powietrzu do maksymal-



Ryc. 4. Wilgotność względna powietrza przedstawiona jako procentowe wypełnienie pojemnika na parę wodną: a) gdy jest cały wypełniony, wilgotność względna równa się 100%, b) gdy jest wypełniony w połowie, wilgotność względna równa się 50%.



Ryc. 5. Kondensacja (skraplanie się) pary wodnej na ścianach wewnątrz silosu jest wynikiem ochładzania powietrza nasyconego parą wodną; najczęściej występuje, gdy suszenie jest wymuszone intensywnym podgrzewaniem powietrza, a temperatura otoczenia jest niska.



Niebezpieczne skraplanie się pary wodnej w silosie występuje przy próbie intensywnego suszenia ziarna poprzez wdmuchiwanie nadmiernie podgrzanego powietrza

nej masy pary wodnej, którą może pomieścić wilgotne powietrze w danej temperaturze (rycina 4). W nawiązaniu do tej ryciny można dodać, że przymiotnik „względna” znaczy względem całkowitego wypełnienia pojemnika na parę wodną.

Teraz obrazowo wyjaśnimy jak dochodzi do kondensacji pary wodnej w magazynie zbożowym?

Typowy proces intensywnego suszenia ziarna w silosie przedstawiono na rycinie 5. Zakładamy, że powietrze wdmuchiwane do warstwy ziarna jest podgrzane do temperatury 45°C, a jego wilgotność względna wynosi tylko 28% (możemy powiedzieć, że duży pojemnik na parę wodną wypełniony jest tylko w 28 procentach). Powietrze przepływając przez warstwę ziarna, spotyka się z wilgotnymi ziarniakami i oddaje im swoje ciepło. Ziarniaki wykorzystują je do odparowania ze swej powierzchni wody, która w postaci pary wodnej przechodzi do powietrza. W ten sposób powietrze zmniejsza swoją temperaturę i nawilża się - pojemnik na parę wodną kurczy się, a ilość zawartej w nim pary wodnej się zwiększa. W rezultacie na wylocie z warstwy ziarna temperatura powietrza jest dużo niższa (na przykład 30°C), a wilgotność względna dużo wyższa (na przykład 80%) w porównaniu z temperaturą i wilgotnością powietrza na wlocie.

Po opuszczeniu warstwy ziarna powietrze na swej drodze do wylotu z silosu styka się często z chłodniejszymi ścianami i dachem. W przykładzie (rycina 5) założono, że ich temperatura wynosi 14°C. Gdy temperatura opisywanego powietrza obniży się do 27°C, jego wilgotność względna osiąga 100%. Każdy kilogram suchego powietrza może unieść w tych warunkach 22 gramy pary wodnej. Dalsze schładzanie powietrza powoduje zamianę nadwyżki pary wodnej w wodę. Na rycinie przedstawiono to tak, że „z pojemnika wylewa się skroplona para wodna”. Gdy powietrze schłodzimy do temperatury 14°C, każdy kilogram suchego powietrza może „unieść” co najwyżej 10 gramów pary wodnej. Oznacza to, że każdy kilogram suchego powietrza musi „zrzucić z siebie” $22 - 10 = 12$ g pary wodnej, która ulegnie skropleniu i będzie spływać po ścianach lub skapywać do warstwy ziarna z dachu.

Kondensacja pary wodnej może następować nie tylko na zewnątrz warstwy ziarna, lecz także wewnątrz. Dzieje się tak wtedy,

gdy temperatura powietrza spadnie poniżej temperatury punktu rosy już w warstwie ziarna.

Co robić, by nie dopuścić do nawilżania ziarna skroploną parą wodną wewnątrz magazynu z ziarnem?

Oto najważniejsze zalecenia:

1. W nawiązaniu do prezentowanych ilustracji można powiedzieć, że nie wolno dopuścić do przepełnienia pojemnika na parę wodną wewnątrz magazynu. Do przepełnienia dochodzi, gdy:
 - a) temperatura powietrza wdmuchiwanego do warstwy ziarna i związana z tym temperatura powietrza wylotowego z warstwy ziarna jest zbyt wysoka w stosunku do temperatury otoczenia;
 - b) przepływ powietrza przez warstwę ziarna jest zbyt wolny.
2. Należy przestrzegać zaleceń co do konstrukcji magazynu, dopasowania wentylatora, podgrzewacza i sterownika do wentylacji ziarna. Poniżej podano najważniejsze zalecenia za jednym z poradników dla farmerów amerykańskich:
 - a) wysokość silosów do suszenia ziarna (szczególnie suszenia intensywnego) nie powinna przekraczać 4 m, czyli powinna być dużo mniejsza od wysokości silosów przeznaczonych do przechowywania suchego ziarna;
 - b) w magazynach, w których jest prowadzone intensywne suszenie, należy instalować nad warstwę ziarna (na przykład w dachu) dodatkowe wentylatory wyciągowe;
 - c) wymuszenie szybszego suszenia grubej warstwy ziarna powinno być wynikiem zwiększenia przepływu powietrza przez warstwę ziarna, a nie temperatury;
 - d) należy bezwzględnie stosować następujące zalecenie: im wilgotność ziarna zbieranego wyższa, tym mniejsza grubość warstwy ziarna suszonego.
3. Aby bezpiecznie przewietrzać, chłodzić lub dosuszać ziarno lub nasiona w silosie należy zastosować odpowiedni sterownik do wentylacji ziarna w silosach.

prof. dr hab. inż. Antoni Ryniecki
dr hab. inż. Jolanta Wawrzyniak
© Mr INFO Antoni Ryniecki

Konserwacja ziarna mokrego – suszenie niskotemperaturowe

1. KRÓTKI PRZEGLĄD METOD

Metody późniejszej konserwacji ziarna, czyli utrwalania jego jakości z dnia zbioru, można podzielić na takie, które umożliwiają przechowywanie:

- krótkoterminowe (do około 3 miesięcy) nie wymagające suszenia, oraz
- długoterminowe (od ponad 6 miesięcy do około 2 lat) polegające na odpowiednim zmniejszeniu zawartości wody w ziarnie.

Krótkoterminowymi metodami, które nie obejmują suszenia, utrwała się niewielki procent masy zbieranego ziarna. Do tych metod należą:

- konserwowanie chłodnicze,
- przechowywanie w hermetycznych warunkach oraz
- konserwowanie środkami chemicznymi.

W konserwacji chłodniczej mokre ziarno doprowadza się do stanu termoanabiozy poprzez schłodzenie do temperatury poniżej 5°C za pomocą agregatów chłodniczych. Dotyczy to głównie ziarna paszowego. Przechowywanie mokrego ziarna w hermetycznych warunkach polega na doprowadzeniu masy ziarna do stanu anoksyanabiozy przez odcięcie tlenu. Ziarno zmienia swój smak, nabiera zapachu fermentacyjnego i może być przeznaczone tylko na cele paszowe lub przemysłowe. Konserwowanie środkami chemicznymi (na przykład kwasem propionowym, mocznikiem czy amoniakiem) polega na zahamowaniu działania enzymów ziarna oraz drobnoustrojów żyjących w masie zbożowej.

Metody, które umożliwiają długookresowe przechowywanie polegają na suszeniu i chłodzeniu ziarna. Są to metody najczęściej stosowane w praktyce.

W tabeli 1 przedstawiono dopuszczalne wartości wilgotności ziarna do przechowywania długoterminowego.

Tabela 1.

Rodzaj ziarna	Typowa maksymalna wilgotność ziarna przy zbiorze [%]	Bezpieczna wilgotność ziarna gdy przechowujemy do pół roku [%]	Bezpieczna wilgotność ziarna gdy przechowujemy ponad pół roku [%]
Pszenica, żyto, jęczmień i owies:	19	14,5	13
Rzepak	16	8	7
Kukurydza konsumpcyjna	33	14,5	13

Istnieje wiele metod suszenia ziarna. Najważniejsze, to:

- suszenie wysokotemperaturowe** oraz
- suszenie niskotemperaturowe.**

Gdy wilgotność ziarna zebranego przekracza 20%, niezbędne jest szybkie suszenie wysokotemperaturowe. Dotyczy to głównie kukurydzy. W metodzie suszenia wysokotemperaturowego ziarno w ruchu w cienkich warstwach przedmuchiwane jest ogrzanym powietrzem. Ziarno podstawowych zbóż o wilgotności podczas zbioru mniejszej niż 20% można suszyć i chłodzić metodą niskotemperaturową w grubej nieruchomej warstwie, np. w silosach lub magazynach płaskich.

2. NISKOTEMPERATUROWE SUSZENIE ZIARNA – PODSTAWOWE ZASADY

Jest to metoda suszenia ziarna najczęściej stosowana w gospodarstwach rolnych. Równoznaczna nazwa to suszenie ziarna w temperaturze bliskiej temperaturze otoczenia (w j. ang. *near-ambient grain drying*). Do tego suszenia w warunkach klimatycznych Polski wykorzystuje się zasadniczo potencjał suszący powietrza atmosferycznego. Jednostkowe zużycie energii na odparowanie jednego kilograma wody z masy ziarna jest dużo mniejsze w porównaniu z innymi metodami suszenia. W Wielkiej Brytanii w mokrym klimacie morskim metodą tą na początku tego wieku suszono około 50% masy ziarna zbieranego, a w suchym klimacie prerii północnoamerykańskiej aż około 80%. Ta metoda suszenia wymaga przestrzegania pewnych zasad, na przykład wymaganych dawek powietrza suszącego i dopuszczalnych grubości warstw dla danych wartości wilgotności ziarna zbieranego z pola. Niezbędna jest też odpowiednia kontrola wdmuchiwanego powietrza.

Rolnicy pytają: jak to się dzieje, że powietrze suszy ziarno w warstwie grubości kilku metrów? **Jak wyjaśnić proces suszenia niskotemperaturowego w grubej nieruchomej warstwie?**

Proces suszenia niskotemperaturowego w grubej nieruchomej warstwie polega na tym, że pod perforowaną podłogę, na której leży ziarno w magazynie silosowym lub płaskim wdmuchuje się wentylatorem sprężone powietrze, które może przyjąć parę wodną. Najlepiej, aby podłoga była perforowana na całej powierzchni. Sprężone powietrze pokonuje opór warstwy ziarna i przepływa w przestrzeniach między ziarniakami. Wilgoć znajdująca się w pojedynczych ziarniakach jest z nich odparowywana w postaci pary wodnej i przejmowana przez przepływające powietrze, które następnie jest wyprowadzane na zewnątrz magazynu.

Zagłębiając się jednak w mechanizm tego procesu możemy zapytać dalej: **co wymusza odparowywanie wody z powierzchni każdego ziarniaka?** Inaczej można by spytać: co jest siłą napędową odparowywania wody z powierzchni ziarniaków? Otóż siłą napędową tego procesu jest różnica ciśnień cząstkowych pary wodnej w powietrzu przepływającym przez przestrzenie międzyziarnowe i na powierzchni ziarniaków. Ciśnienie cząstkowe pary wodnej w przepływającym powietrzu musi być oczywiście niższe. Przykład przedstawiono na rycinie 1, gdzie ciśnienie cząstkowe pary wodnej



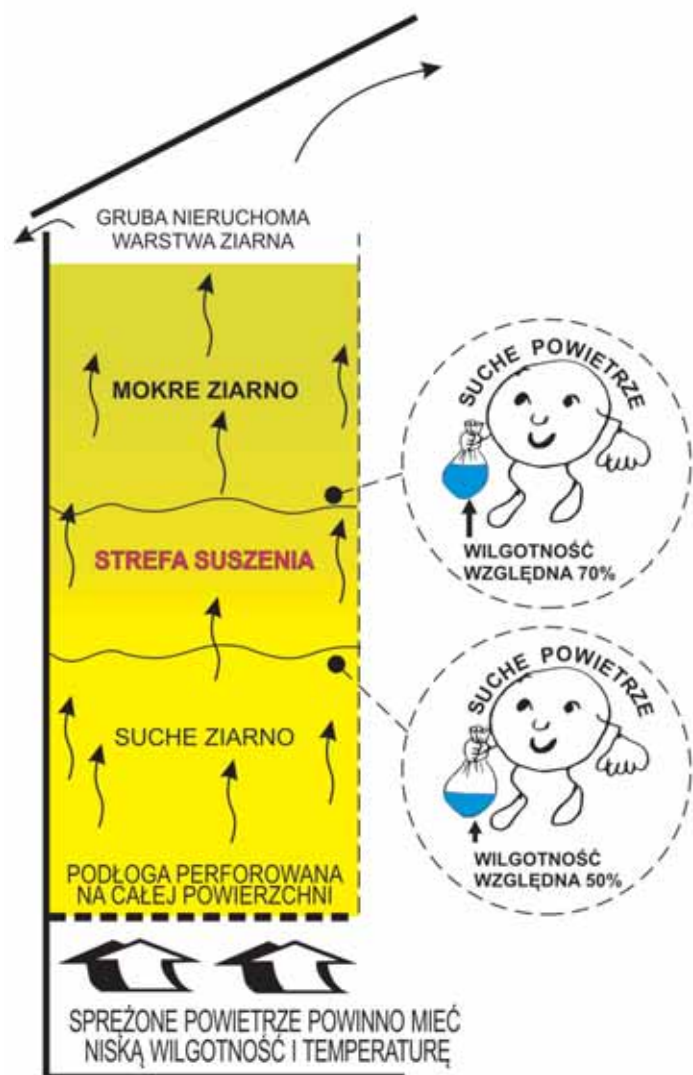
Ryc. 1. Przedstawienie siły napędowej odparowywania wody z ziarniaków pszenicy o wilgotności 20% w przestrzeniach międzyziarnowych, gdzie temperatura przepływającego powietrza wynosi 25°C , jego wilgotność względna 55%, a temperatura na powierzchni ziarniaków $19,2^\circ\text{C}$ (szczegóły w poradniku *Drying and Cooling Grain in Bulk*, Mr Info, Poznań 2006).

oznaczono symbolem P_v . Taka sytuacja występuje, gdy wilgotność względna powietrza znajdującego się między ziarniakami jest niższa od tzw. wilgotności równowagowej powietrza WR (co zostało wyjaśnione w części *Migracja wilgoci w silosie*). Odparowywaniu wody z powierzchni ziarniaków towarzyszy wyrównywanie się zawartości wilgoci w ich wnętrzu – następuje więc migracja wilgoci z wnętrza ziarniaków na ich powierzchnię. Ziarniaki są ciałami porowatymi o strukturze mikrokapilarnej. Szybkość wyrównywania się wilgoci wewnątrz ziarniaków zależy m.in. od ich rozmiarów – im większe ziarniaki, np. kukurydzy, tym wyrównywanie wilgoci jest wolniejsze.

W wyniku procesu odparowywania ziarno zmniejsza swoją wilgotność, natomiast w przepływającym powietrzu przybywa pary wodnej. Należy nadmienić, że odparowywaniu wody towarzyszy zużycie ciepła i obniżenie temperatur ziarniaków w miejscach odparowywania wilgoci (wynika to z przemiany fazowej wody zawartej w ziarniakach w parę wodną przejętą przez powietrze suszące). Tak krótko można opisać transfer wilgoci między pojedynczymi ziarniakami a przepływającym między nimi powietrzem. Ale **jak to się dzieje w całej masie ziarna, tzn. jak przepływ wilgoci od ziarniaków do powietrza przebiega w różnych miejscach grubej warstwy ziarna w czasie suszenia?**

Typowy proces suszenia niskotemperaturowego w grubej nieruchomej warstwie zobrazowano na rycinie 2. Wilgoć przepływa od ziarniaków do powietrza tam, gdzie wilgotność względna powietrza jest niższa od wilgotności równowagowej WR. Tak dzieje się zasadniczo tylko w warstwie o stosunkowo niewielkiej grubości, zwanej strefą suszenia lub frontem suszenia. Front suszenia powoli przesuwa się zgodnie z kierunkiem ruchu powietrza w masie ziarna. Rycina 2 ilustruje strefę suszenia w połowie grubości całej warstwy ziarna, czyli mniej więcej w połowie całego okresu suszenia.

Powietrze przedstawiono obrazowo podobnie jak na rycinach 4 i 5 w części *Migracja wilgoci w silosie*. W powietrzu, które przepływa przez strefę suszenia, przybywa pary wodnej, co jak wiemy oznacza, że wilgotność względna powietrza wzrasta. Na rycinie 2 zobrazowane jest to tak, że „pojemnik na parę wodną” w powietrzu suszącym wypełnia się coraz bardziej wraz z jego



Ryc. 2. Idea suszenia niskotemperaturowego, czyli suszenia grubej nieruchomej warstwy ziarna przez mechaniczną wentylację powietrzem o temperaturze bliskiej temperaturze otoczenia. Strefa suszenia powoli przesuwa się zgodnie z kierunkiem ruchu powietrza suszącego. Przedstawione wartości wilgotności powietrza 50% i 70% są wartościami przykładowymi.

przepływem przez masę ziarna znajdującą się w strefie suszenia. Jednocześnie, ponieważ temperatura maleje, wielkość „pojemnika na parę wodną” ulega zmniejszeniu, co tym bardziej zwiększa wypełnienie „pojemnika na parę wodną”, tzn. wilgotność względną powietrza.

Gdy wilgotność względna przepływającego powietrza zwiększy się do poziomu wilgotności równowagowej, wilgoć przestaje przepływać od ziarniaków do powietrza. Taka sytuacja ma miejsce w warstwach ziarna ponad strefą suszenia. Oznacza to, że wilgotność ziarna w warstwach powyżej strefy suszenia utrzymuje się na poziomie zbliżonym do wilgotności początkowej przez prawie cały okres suszenia. Suszenie niskotemperaturowe trwa od kilku dni w suchych latach, do ok. 2–3 tygodni w latach bardzo mokrych, co zależy też od grubości warstwy zasypanego ziarna.

Wilgotność ziarna suchego w warstwach poniżej strefy suszenia ustala się na poziomie wilgotności równowagowej powietrza WR w stosunku do wilgotności względnej powietrza wdmuchiwanego pod perforowaną podłogę. Wartości wilgotności WR można odczytać dla ziarna jęczmienia i nasion rzepaku w części broszury *Migracja wilgoci w silosie*, na rycinie 2.

Wróćmy do warstw ponad strefą suszenia, gdzie ziarno pozostaje mokre przez prawie cały okres suszenia. Jeżeli tak się dzieje, to rodzi się uzasadnione pytanie: **czy ziarnu nie grozi w tych miejscach zapleśnienie?** Tak, istnieją tam sprzyjające warunki do rozwoju wszelkich żywych organizmów, w tym szczególnie grzybów pleśniowych. Problem jednak łagodzi zjawisko naturalnego oziębiania i osuszania powierzchni ziarniaków w tych miejscach, szczególnie, gdy są wentylowane powietrzem tylko nieznacznie podgrzanym. Trzeba jednak pamiętać, że suszenie niskotemperaturowe to wyścig z pleśniami.

Należy zdążyć wysuszyć górne warstwy ziarna, zanim rozwiną się w nich grzyby pleśniowe. Inaczej mówiąc trzeba wziąć pod uwagę czas bezpiecznego suszenia przy danej wilgotności i temperaturze ziarna. Kluczem do tego by wspomniany wyścig z pleśniami zakończył się sukcesem, jest:

- odpowiedni strumień (dawka) powietrza penetrującego wszystkie miejsca grubej warstwy ziarna (im dawka powietrza większa, tym lepiej);
- odpowiednia wilgotność względna i temperatura powietrza – im niższe, tym lepiej;
- odpowiednia kontrola wilgotności względnej i temperatury wdmuchiwanego powietrza.

Wilgotność względna i temperatura wdmuchiwanego powietrza powinny być kontrolowane tak, by nie dopuścić do niepotrzebnego nawilżenia dolnych warstw ziarna oraz by strefa suszenia dotarła do najwilgotniejszych warstw, zanim rozwiną się tam pleśnie. Jednocześnie żąda się, by w chwili zakończenia suszenia nie występowało nadmierne przesuszenie warstw znajdujących się na wlocie powietrza suszącego.

3. URZĄDZENIA DO NISKOTEMPERATUROWEGO SUSZENIA ZIARNA

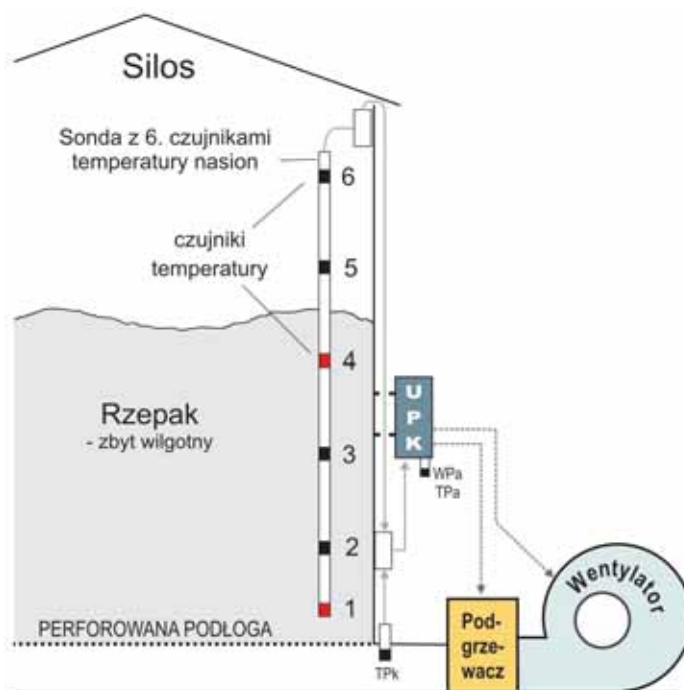
Oto najważniejsze urządzenia do suszenia ziarna w silosie lub magazynie płaskim:

1. Wentylator.
2. Urządzenia doprowadzające sprężone powietrze z wentylatora do masy ziarna – kanały wentylacyjne i perforowana podłoga.
3. Urządzenie pomiarowo-kontrolne (UPK), na przykład sterownik do wentylacji ziarna.
4. Podgrzewacz powietrza.

Przykład urządzeń do suszenia niskotemperaturowego przedstawiono na rycinie 3.

Zalecane dawki powietrza niezbędne do doboru wentylatora do suszenia niskotemperaturowego znacznie się różnią w krajach o odmiennym klimacie. W klimacie Polski wartości potencjału suszącego powietrza atmosferycznego są wartościami pośrednimi między tymi w mokrym klimacie morskim i suchym kontynentalnym. Zgodnie z wynikami badań przeprowadzonych przez autorów, należy zapewnić następujące podstawowe warunki, aby suszenie było bezpieczne:

- Wydajność wentylatora nie powinna być mniejsza niż 0,07 metra sześciennego na sekundę na każdy metr kwadratowy powierzchni podłogi [$0,07 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2 \text{ pow. podłogi})$], czyli $252 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2 \text{ pow. podłogi})$.
- Na trudne sytuacje pogodowe należy zapewnić maksymalną moc podgrzewacza na poziomie $0,42 \text{ kW}/(\text{m}^2 \text{ pow. podłogi})$.
- Nie wolno zbyt intensywnie podgrzewać powietrza wdmu-



Ryc. 3. Przykład urządzeń do suszenia nasion rzepaku w silosie. WPa i TPa – sonda wilgotności i temperatury powietrza atmosferycznego, TPK – sonda temperatury powietrza w kanale doprowadzającym powietrze do grubej warstwy nasion.

chowanego do grubej nieruchomej warstwy ziarna. Dlaczego? Ponieważ intensywnie podgrzane powietrze wchłonie zbyt dużo wody w warstwach na wlocie powietrza i po schłodzeniu w warstwach na wylocie powietrza dojdzie do skraplania się pary wodnej i nawilżania tych górnych warstw. Najlepsze jest powietrze o jak najniższej temperaturze, o ile jego wilgotność względna nie jest wyższa od bezpiecznej dla ziarna wilgotności powietrza, zbliżonej do wilgotności równowagowej WR.

- Wilgotność względną powietrza można obniżyć do bezpiecznego dla ziarna poziomu przez podgrzewanie tylko wtedy, gdy jest to konieczne. Podgrzewanie powinno być dozowane na minimalnym wymaganym poziomie, za pomocą UPK (urządzenia pomiarowo-kontrolnego).
- Grubość warstwy ziarna i zalecane dawki powietrza zależą od wilgotności ziarna w chwili rozpoczęcia suszenia i nie powinny przekraczać wartości podanych w tabeli 2.

Tabela 2. Dopuszczalne grubości warstwy ziarna i dawki powietrza dla ziarna podstawowych zbóż o danej wilgotności początkowej;

Wilgotność ziarna początkowa	Grubość warstwy	Prędkość powietrza a)	Wydajność wentylatora b)	Dawka powietrza c)
[%]	[m]	[cm/s]	[m ³ /s]	[m ³ /(hxt)]
17	6	7	0,07	55
20	3	7	0,07	111
22	1	7	0,07	332

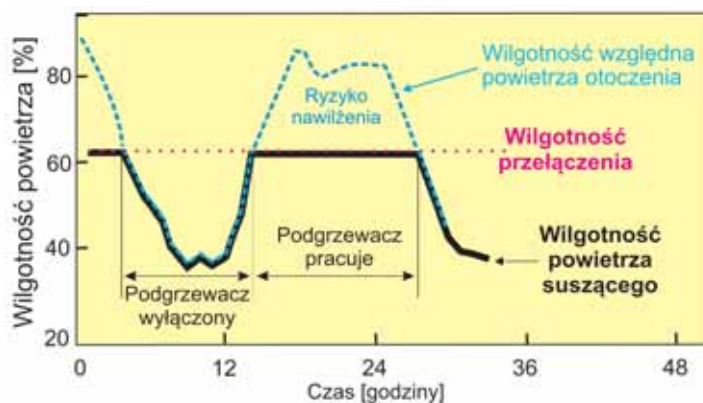
- a) pozorna prędkość powietrza (pomiar anemometrem),
- b) wydajność wentylatora w przeliczeniu na 1 m² przekroju komory suszenia,
- c) dawka powietrza w przeliczeniu na ziarno pszenicy o gęstości 0,76 t/m³.

Badania przeprowadzono na podstawie codziennych danych meteorologicznych z 17 lat ze stacji Poznań-Ławica. Dla wszystkich badanych lat czas suszenia najwilgotniejszych warstw ziarna był krótszy od czasu bezpiecznego przechowywania, wyznaczonego według kryterium stopnia rozwoju pleśni.

Na tym etapie przybliżania praktycznej wiedzy o urządzeniach do suszenia niskotemperaturowego pytamy: jak najprościej wyjaśnić działanie urządzenia pomiarowo-kontrolnego, UPK. Istnieje kilka strategii kontrolowania, mówimy też sterowania, procesem suszenia niskotemperaturowego. Ich cechą wspólną jest to, że decyzja o zakończeniu tego powolnego suszenia podejmowana jest przez człowieka, który to suszenie nadzoruje, a w sposób automatyczny sterowany jest proces wentylacji ziarna.

Najprostszy sposób sterowania wentylacją ziarna polega na czuwaniu, by **wilgotność powietrza suszącego** wdmuchiwanego pod dolną warstwę ziarna, **nie wzrosła ponad ustaloną stałą wartość**, zwaną wilgotnością przełączania. Idea ta przedstawiona na rycinie 4 jest następująca: wentylator pracuje w sposób ciągły, a podgrzewacz załączany jest tylko wtedy, gdy wilgotność powietrza otoczenia stwarza ryzyko nawilżenia ziarna tzn., gdy jest wyższa od wilgotności przełączania. Można tutaj nadmienić, że podgrzanie powietrza otoczenia o 1°C (w zakresie wartości występujących w okresie późniejszym) powoduje zmniejszenie wilgotności względnej powietrza o około 4,5%.

Teraz postawmy sobie pytanie: **jaka powinna być wartość wilgotności przełączania?** Po pierwsze, nie powinna być wyższa od wilgotności równowagowej powietrza, żeby uniknąć nawilżenia ziarna. Im będzie niższa, tym częściej będzie załączany podgrzewacz. Po ustaleniu zbyt niskiej wartości, podgrzewacz będzie włączony na stałe, a to (jak sygnalizowaliśmy wcześniej) niesie ze sobą ryzyko zepsucia najwilgotniejszych warstw ziarna i niepotrzebnie zwiększa zużycie energii. Podobnie jak poradnik dla farmerów bry-



Ryc. 4. Najprostsze sterowanie wentylacją ziarna w celu jego suszenia za pomocą urządzenia pomiarowo-kontrolnego (UPK), które działa jak humidostat.

tyjskich autorstwa Ken McLean'a zalecamy, by dla humidostatów wilgotność przełączania ustalać na wartości o ok. 3% niższej niż wartość wilgotności równowagowej powietrza WR, którą dla ziarna jęczmienia i nasion rzepaku podaliśmy w części broszury pt. *Migracja wilgoci w silosie – wentylacja ziarna*.

Łatwiejszy dla obsługującego sposób ustawiania wartości wilgotności przełączania jest możliwy, gdy UPK oblicza wartości wilgotności równowagowej WR dla różnych rodzajów ziarna lub nasion. UPK oparte na powszechnie stosowanych mikroprocesorach posiadają takie możliwości. Wtedy nie trzeba z tabel lub wykresów odczytywać wartości WR. UPK powinien mieć też możliwość wyłączania wentylatora i podgrzewacza podczas opadów deszczu lub gdy wystąpi mgła.

prof. dr hab. inż. Antoni Ryniecki
dr hab. inż. Jolanta Wawrzyniak
* © Mr INFO Antoni Ryniecki

Najprostszy sposób sterowania wentylacją ziarna polega na czuwaniu, by wilgotność powietrza suszącego wdmuchiwanego pod dolną warstwę ziarna, nie wzrosła ponad ustaloną stałą wartość, zwaną wilgotnością przełączania

Nowe elementy w monitorowaniu stanu ziarna

Zebrań ziarno przechowywane jest w bardzo różnych warunkach. Dla celów długotrwałego przechowywania ziarna zarówno przeznaczonego do konsumpcji jak i na paszę ważne jest monitorowanie jego stanu, połączone z możliwością działań interwencyjnych w przypadku stwierdzenia zagrożenia bezpieczeństwa.

Podstawowym czynnikiem hamującym niekorzystne zmiany zachodzące w ziarnie jest utrzymywanie odpowiedniego stopnia wysuszenia ziarna. Optymalny poziom jego wilgotności zawiera się w przedziale 10–14%. Jednak w trakcie przechowywania mogą zachodzić zmiany niekorzystne dla jakości ziarna: przy dużej wilgotności powietrza ziarno może zwiększyć swoją wilgotność, może również ulec samozagraniu pod wpływem lokalnych zmian wilgotności lub aktywności szkodników. Dlatego monitorowane powinny być również inne parametry niż wilgotność, a mianowicie:

- temperatura ziarna
- zawartość dwutlenku węgla (CO_2)
- zawartość tlenu
- zawartość lotnych związków organicznych.

Szybkie wysuszenie ziarna i obniżenie jego temperatury po zbiorach i transporcie do miejsca magazynowania powoduje ograniczenie ryzyka zarówno żerowania szkodników, rozwoju szkodliwych pleśni oraz wzrostu zawartości mikotoksyn. Monitorowanie temperatury często powiązane jest z jej obniżaniem poprzez systemy wentylująco-chłodzące. Pomiar temperatury w dużych silosach można prowadzić za pomocą czujników umieszczonych na długich

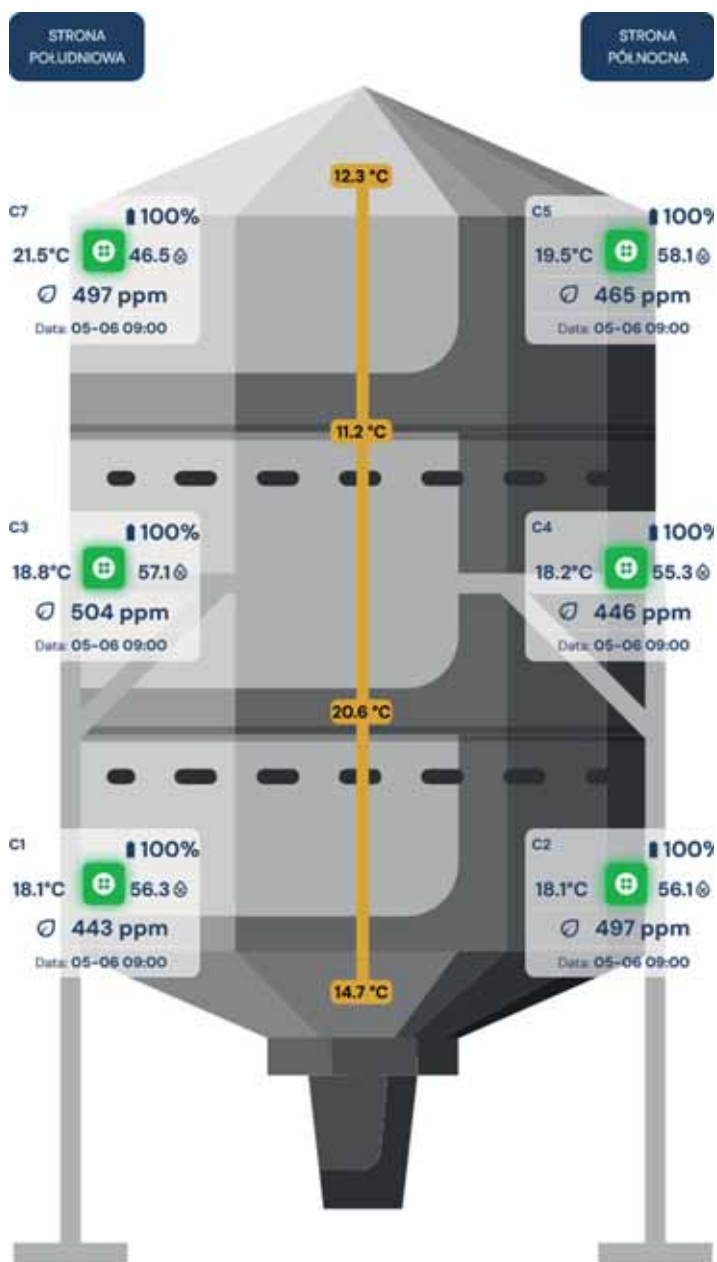
przewodach w opancerzonych osłonach.

Wszystkie procesy życiowe powodują wydzielanie ciepła oraz wytworzenie dwutlenku węgla (CO_2). W trakcie przechowywania zboża procesy takie nie zachodzą równomiernie w całej masie, lecz z reguły występują lokalnie. Na skutek różnych czynników (większa wilgotność, miejsce żerowania szkodników) tworzą się tzw. gorące punkty (tzw. hot spots) czyli miejsca w których temperatura jest podwyższona. Zwiększenie temperatury z kolei prowadzi do zwiększenia szybkości reakcji biochemicznych, które zwiększają ponownie temperaturę. W wyniku tego procesu powstają straty zarówno ilościowe jak i jakościowe: zmniejsza się masa ziarna (wzrost suchej masy) i zmniejsza się jego wartość użytkowa. Taki proces określany mianem samozagrania, może doprowadzić czasami do samozapłonu.

W silosach zbożowych problem ten jest szczególnie ważny z powodu obecności dużej ilości pyłów, które powstają wskutek kruszenia ziarna w trakcie omlotu, transportu i przesypywania. Pył zbożowy jest szczególnie groźny gdyż jego podatność na eksplozję jest kilkadziesiąt razy wyższa niż pyłu węglowego. Wyniki badań wskazują, że do najniebezpieczniejszych zbóż w kontekście transportu i magazynowania można zaliczyć pszenicę. Podczas procesu przesypywania gromadzi ona przeszło trzykrotnie większy ładunek elektryczny niż np. kukurydza. Właściwości wybuchowe pyłu pszenżyta i owsa są nieco niższe niż pszenicy, lecz zliczane są do tej samej grupy. W przypadku zapłonu mieszaniny pyłowo-powietrznej szybkość rozwoju procesu spalania przekracza 80 km/h. Mimo

Pomiar temperatury w dużych silosach można prowadzić za pomocą czujników umieszczonych na długich przewodach w opancerzonych osłonach





Ryc. 1. Przykładowy rysunek testowego silosu firmy Biomesh, wyposażonego w czujniki temperatury i CO₂, zawierającego kukurydź

że jest klasyfikowana jako pył klasy ST1, gwałtowny wzrost ciśnienia podczas wybuchu w zamkniętym pomieszczeniu takim jak silos lub magazyn płaski może spowodować duże straty materialne i obrażenia u przebywających w strefie wybuchu osób. W związku z tak dużą zdolnością gromadzenia ładunku elektrycznego zaleca się stosowanie zabezpieczeń odprowadzających nadmiar gromadzonego ładunku elektrostatycznego podczas prac związanych z przesypaniem i kondycjonowaniem ziarna, oraz zachowanie szczególnej ostrożności podczas transportu i przetwarzania pszenicy i zadbanie o to, aby stężenie dolnej granicy wybuchowości pyłu nie zostało przekroczone. Proponuje się ponadto stosowanie atmosfery o obniżonej zawartości tlenu w trakcie przechowywania pszenicy w magazynach typu silos. Zdolność do zapłonu pyłu zbożowego jest bardzo wrażliwa na stężenie tlenu. Taka forma zabezpieczenia przed zagrożeniem wystąpienia samozapłonu czy wybuchu pyłu pozwala bezpieczniej magazynować ziarno.

Samozagrzewanie się górnej warstwy ziarna (70–150 cm od powierzchni), ma miejsce przede wszystkim jesienią i wiosną. Jesienią,

kiedy magazynuje się świeżo zebrane i niedostatecznie ochłodzone ziarno, występują w nim aktywnie procesy biochemiczne i nagrzane powietrze w przestrzeniach międzyziarnowych przemieszcza się do górnych części złoza. W tym rejonie ciepłe i wilgotne powietrze ulega ochłodzeniu w zetknięciu z zimniejszą warstwą ziarna, następuje przekroczenie punktu rosy i kondensacja pary wodnej. Wówczas powstają dogodne warunki dla rozwoju drobnoustrojów, w tym grzybów toksynotwórczych oraz przyspieszenie funkcji życiowych ziarna.

Z kolei wiosną, kiedy wewnątrz masy ziarna ma jeszcze niską temperaturę a górne warstwy nagrzewają się od ciepłego powietrza, możliwy jest przepływ i kondensacja pary wodnej i wzmożony rozwój procesów biologicznych. Samozagrzewanie się głębszych warstw przyzmy jest charakterystyczne dla wilgotnego i mokrego ziarna w jesiennym okresie magazynowania, nawet przy niedużej grubości złoza. O ile monitorowanie temperatury ziarna nie jest skomplikowane, to identyfikowanie miejsc samozagrzewania nie jest proste ze względu na dobrą izolację termiczną ziarna i powolne rozchodzenie się ciepła w całej masie. Podwyższenie temperatury powinno być sygnałem o mogących pojawić się problemach.

Również wczesnym sygnałem zachodzenia niepożądanych zmian w silosie lub magazynie jest wzrost stężenia CO₂ w atmosferze. Monitorowanie zmian stężenia tego gazu jest dobrym sposobem na wczesne wykrycie zmian zachodzących w przechowywanym ziarnie. Zawartość dwutlenku węgla w powietrzu jest bardzo niska. Wyrażana jest w odpowiednich jednostkach określanych jako „ppm”. 1 ppm odpowiada jednej cząsteczce CO₂ w milionie cząstek powietrza Oczywiście w atmosferze naturalnej CO₂ również jest obecny. W roku 2020 na świecie średnio w powietrzu było 417 ppm CO₂. Odpowiada to 0,04% objętościowych powietrza. Dodatkowymi źródłami zwiększającymi jego stężenie w magazynach są: procesy oddychania zachodzące w trakcie przechowywania, a w zbyt wilgotnym ziarnie procesy samozagrzewania i samozapłonu. Na wzrost zawartości dwutlenku węgla także wpływa obecność szkodników (owady, gryzonie) i obecność szkodliwych mikroorganizmów takich jak pleśnie i grzyby toksynotwórcze.

Już względnie niewielki wzrost stężenia CO₂ w pomieszczeniu powoduje szybki spadek komfortu odczuwanego przez ludzi oraz powoduje przykre dolegliwości i obniżenie koncentracji uwagi. Przy stężeniu 10 000 ppm (1%) następuje wzrost częstości oddychania, przy 50 000 ppm (5%) oddech staje się utrudniony i bardzo szybki, następuje wzrost ciśnienia krwi i częstości tętna. Tak więc monitorowanie zawartości CO₂ w powietrzu może mieć istotne znaczenie w pracy w silosach.

Do tego celu wykorzystywane są zarówno mierniki (czujniki) CO₂ jak też sterowniki, połączone z systemami wentylacyjnymi. Najczęściej wykorzystywane typy czujników monitorują i wykrywają obecność dwutlenku węgla na podstawie absorpcji światła podczerwonego o określonej długości fali – dla CO₂ to najczęściej 4,26 μm. Taka długość fali nie jest pochłaniania przez inne, poza dwutlenkiem węgla, powszechnie występujące gazy. Są to czujniki typu NDIR (niedyspersyjny czujnik podczerwieni). Stosowane czujniki muszą charakteryzować się wysoką niezawodnością i dużą czułością. Nie powinny wymagać częstej obsługi. Z racji pracy w środowisku zapyłonym muszą posiadać odpowiedniej klasy za-

bezpieczenia przeciwpyłowe (membrany) i przeciwybuchowe. Dostępna jest cała gama urządzeń, które mogą pełnić funkcje zarówno prostych mierników CO₂ jak i bardziej rozbudowanych rejestratorów i regulatorów CO₂, jeśli podłączone są w systemie sieciowym przewodowym lub bezprzewodowym z odpowiednimi urządzeniami kontrolnymi i wentylującymi. Urządzenia takie mogą równocześnie dokonywać pomiaru temperatury i pełnić funkcje alarmowe, przy ustawieniu różnych wartości progowych stężenia dwutlenku węgla.

Określenie poziomu zawartości CO₂ jest ważne, lecz czujniki nie wskazują przyczyny jego wzrostu. Takie informacje mogą być natomiast istotne dla właściciela w kontekście sposobów zapobiegania stratom ilościowym i jakościowym podczas przechowywania ziarna. W ostatnim czasie zaczęto rozwijać techniki identyfikacji innych związków obecnych w atmosferze silosów i magazynów, tzw. lotnych związków organicznych (LZO). Możliwości takie posiadały dotychczas chromatografy gazowe, które są skomplikowane w budowie, wymagają wysoko kwalifikowanej obsługi, a badania laboratoryjne są czasochłonne. Jednak coraz częściej do wykrywania LZO stosowane są urządzenia określane wspólną nazwą „elektronicznych nosów”. Są to systemy składające się z wielu czujników w jednej obudowie, o różnej konstrukcji i sposobie działania. Najczęściej wykorzystywane są do tego celu półprzewodnikowe tlenki metali, czujniki elektrochemiczne, czujniki konduktometryczne polime-


rów lub z akustyczną falą powierzchniową lub sensory optyczne. Potrafią zarówno wykrywać różne grupy lotnych związków organicznych jak też określać ich stężenie. Początkowo „elektroniczne nosy” były urządzeniami dosyć dużymi i stosowano je stacjonarnie w laboratoriach. Obecnie wraz z postępem w technologii, biochemii i elektronice, wielosensorowe czujniki są możliwe do zastosowania w praktyce. Podczas użytkowania mogą pojawić się problemy, z których najważniejsze to odchylenie czujnika, nieodwracalne uszkodzenie spowodowane przez zatrucie związkami siarki lub fizyczne zniszczenie czujnika.

Każdy czujnik przed zastosowaniem w praktyce należy odpowiednio „nauczyć” rozpoznawania określonej grupy związków, czyli przeprowadzić trening czujnika do odpowiedniej grupy związków. Obecnie w celu odpowiedniego nauczania czujnika wykorzystywane są między innymi sztuczne sieci neuronowe (tzw. sztuczna inteligencja). Na początku treningu czujniki wystawiane są na działanie próbek takich lotnych związków, które mogą potencjalnie występować w badanym środowisku. Następnie czujnik jest testowany w rzeczywistym środowisku. Algorytm opracowany na podstawie próbek znanych gazów może nie być w stanie prawidłowo rozpoznać i sklasyfikować nieznaną próbkę gazu. Algorytm powinien umieć sklasyfikować związek (alkohole, aldehydy, ketony, estry, kwasy organiczne, aminy, węglowodory itp.) niezależnie od stężenia zastosowanego podczas fazy treningowej, i określić jego rzeczywiste stężenie. Dopiero po tej skomplikowanej sekwencji czynności można korzystać z urządzenia. Tego typu rozwiązania wdrożone zostały w przemyśle petrochemicznym, przemyśle perfumeryjnym i kosmetycznym, w oczyszczalniach ścieków, medycynie, transporcie i przemyśle spożywczym (świeżość mleka, ryb, smak i aromat kawy i herbaty, itp.). Aplikacja takich rozwiązań w przechowywaniu zbóż jest we wstępnej fazie badań, lecz wydaje się obiecująca, zwłaszcza w dużych silosach i magazynach.

Aktualnie również w Polsce prowadzone są prace testowe (np. firma Biomesh), mające na celu „nauczenie” systemów monitorujących silosy i magazyny rozpoznawania różnego typu patogenów, zwłaszcza grzybów mogących wytwarzać szkodliwe mikotoksyny. Podczas rozwoju grzybów i wytwarzania mikotoksyn wydzielane są specyficzne grupy związków, które można wykrywać za pomocą opisanej techniki, mimo że fizycznie nie daje się znaleźć źródła zakażenia, które może być niewielkie i leżeć w głębi silosu. Dzięki zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych projektowane są systemy które nie tylko zbierają bieżące dane, lecz będą w stanie przewidywać rozwój patogenów w monitorowanych środowiskach z pewnym wyprzedzeniem, i ostrzegać przed mogącymi pojawić się zagrożeniami oraz pozwalają na wyprzedzające działania interwencyjne.

Obecne systemy monitorowania pozwalają na połączenie wielu obserwacji przechowywanego wrażliwego surowca jakim jest ziarno – jego początkowej wilgotności, temperatury, potencjalnego skażenia mikotoksynami i grzybami wraz z ciągłym monitorowaniem takich parametrów jak wilgotność i temperatura powietrza podczas składowania, stężenie dwutlenku węgla i lotnych związków organicznych. Daje to możliwość dokładnego określenia jego stanu i możliwości długotrwałego składowania w magazynie przy spełnieniu wysokich norm jakości.

Dr Piotr Ochodzki
IHAR-PIB



Wczesnym sygnałem zachodzenia niepożądanych zmian w silosie lub magazynie jest wzrost stężenia CO₂ w atmosferze. Monitorowanie zmian stężenia tego gazu jest dobrym sposobem na wczesne wykrycie zmian zachodzących w przechowywanym ziarnie

Szkodniki magazynowe

Szkodniki magazynowe odpowiedzialne są za niszczenie sniewyobraźalnej ilości żywności każdego roku. Szacuje się, że w skali świata jest to nawet 1/10 ogólnej produkcji rolnej. Odpowiedzialne za psucie, zjadanie i zanieczyszczanie ziarna w magazynach są różne organizmy od drobnoustrojów – bakterie i grzyby, przez bezkręgowce – roztocze oraz owady, po relatywnie duże zwierzęta – gryzonie i ptaki. Większościom szkód można zaradzić jeszcze na etapie planowania magazynowania, budując obiekty magazynowe o odpowiednich parametrach, stosując się do zasad integrowanej ochrony magazynów zbożowych przed szkodnikami, a gdy szkodniki już się pojawią – zwalczając je przy użyciu odpowiednich metod.

Straty spowodowane poprzez samo zjadanie ziarna to tylko jedna z możliwych szkód, ponieważ wraz z ubytkiem masy maleją zyski ze sprzedaży płodów rolnych. Zniszczenia mogą jednak polegać również na zanieczyszczaniu odchodami, martwymi ciałami, wylinkami i wydzielinami. Zasiedlone przez grzyby ziarno może zawierać trujące mykotoksyny, a użycie zasiedlonego przez szkodniki ziarna jako materiał siewny nie jest wskazane z uwagi na fakt, że wiele szkodników owadzych zaczyna żerowanie w ziarniaku od jego zarodka, przez co tak zniszczony ziarniak nie wykiełkuje.

Krótką charakterystyką szkodliwych organizmów w magazynach zbożowych:

Mikroorganizmy - to głównie bakterie i grzyby. Do ich namnażania i wzrostu aktywności dochodzi gdy ziarno ma zbyt wysoką wilgotność i temperaturę. Powodują one psucie i gnicie ziarna. Bakterie potrzebują wyższej wilgotności niż grzyby i tworzą na powierzchni ziarniaków śliski film. Mikroorganizmy mogą w krótkim czasie same stworzyć sobie odpowiednie warunki do rozwoju w magazynie. Wystarczy, że w jednym miejscu panują sprzyjające dla nich uwarunkowania (np. przy ścianie, gdzie skrapla się woda), wówczas powodują one wzrost aktywności ziarniaków i dalsze polepszenie warunków rozwoju. Psucie i gnicie ziarna może mieć miejsce też na środkach transportu w sytuacji gdy przewożone jest zboże niedosuszone lub gdy transport jest nieodpowiednio zabezpieczony i np. dojdzie do zamoczenia surowca przez opady deszczu lub śniegu.

Bezkęgowce – roztocze i owady

Roztocze to mikroskopijnej wielkości pajęczaki, których długość ciała wynosi mniej niż 1 mm. Rozmnażają się masowo kiedy ziarno ma podwyższoną wilgotność i temperaturę. W prawidłowych warunkach panujących w magazynie liczebność roztoczy pozostaje niska. Szkody w magazynach zbóż i wielu innych rodzajów płodów rolnych wyrządzają głównie przedstawiciele dwóch rodzin: rozkruszkowate oraz roztoczkowate. Do najczęściej występujących roztoczy w magazynach z ziarnem zalicza się: rozkruszkę mącznego, rozkruszkę drobnego i rozkruszkę polowo-magazynowego oraz roztoczkę brunatnego i roztoczkę suszowego.

Najgroźniejsze owady, szkodniki magazynowanego ziarna zbóż to wołki (zbożowy i ryżowy) (fot. 1 i 2), trojszyki (ulec i gryzący) (fot. 3), kapturzik zbożowy (fot. 4), spichrzele (głównie surynamski (fot. 5 i 6), rzadziej orzechowiec) mkliki (głównie mączny) (fot. 7) oraz w ostatnich latach coraz częściej omacnica spichrzanka (fot. 8).

Inne szkodniki trafiają się rzadziej, jednak w ziarnie porośniętym lub zanieczyszczonym i opanowanym wcześniej przez mikroorganizmy może rozwijać się znacznie więcej gatunków owadów i roztoczy. Wspomnieć można jeszcze o skośniku zbożowiaczku (fot. 9), ponieważ jest to jedyny motyl zaliczany do tzw. szkodników pierwotnych magazynowanego ziarna. Podobnie jak wołki i kapturzik, gdyż może porażać całe, nieuszkodzone ziarniaki. W zaniedbanych obiektach może pojawiać się też mącznik młynarek (fot. 10), który do rozwoju potrzebuje dużo więcej czasu niż inne szkodniki.

Aby zapobiec szkodom w okresie magazynowania ziarna trzeba zacząć działać jeszcze przed żniwami.

PRZYGOTOWANIE MAGAZYNU NA PRZYJĘCIE SUROWCA

Zboże, kukurydza, ale również nasiona innych roślin powinny być przechowywane w obiektach do tego przeznaczonych, szczelnych i wyposażonych w odpowiedni sprzęt monitorujący warunki przechowywania. Ważny jest też regularny nadzór magazynu prowadzony przez doświadczony personel lub firmę DDD. Nie powinno się magazynować plonów w miejscach do tego nieprzeznaczonych. Prowizoryczne magazyny zwykle przynoszą więcej szkód niż pożytku, zarówno dla właściciela, któremu szkodniki zniszczą ziarno, jak i dla okolicznych rolników, ponieważ szkodniki będą się rozprzestrzeniać. Większość owadów-szkodników magazynowych aktywnie lata (oprócz wołki zbożowego) i zwabione zapachem ziarna może pokonać znaczne odległości. Ziarno zbóż powinno się przechowywać w silosach (blaszanych lub betonowych) albo w magazynach płaskich. Ważnym wyposażeniem magazynów, szczególnie w silosach, powinny być urządzenia do przewietrzania i dosuszania oraz transportu surowca. Na tych ostatnich często istnieje jedyna możliwość aplikacji niektórych preparatów zabezpieczających przed szkodnikami.

Przed przyjęciem surowca magazyn powinien być wysprzątnięty. Zanieczyszczenia i pozostałości poprzednio magazynowanego ziarna są często źródłem infekcji dla nowych. Znajdują się w nich zarodniki grzybów oraz bakterie a często również szkodniki magazynowe. Magazyny powinny być zamknięte i szczelne również w okresach kiedy nie przechowywane jest w nich ziarno. Gryzonie oraz owady chętnie wnikają do takich pomieszczeń zwabione resztkami ziarna lub nawet samym zapachem, utrzymującym się jeszcze długo po opróżnieniu magazynu. Wyczyścić należy też inne urządzenia mające kontakt z plonem: suszarnie, taśmociągi, środki transportu (przyczepy) oraz zbioru (kombajny). Pozostawione w nich, lub na nich, ziarno bez problemu odnajdą i zasiedlą szkodniki magazynowe i wraz z nową partią surowca trafią do magazynu.

ZBIÓR I PRZYGOTOWANIE DO MAGAZYNOWANIA

Żniwa powinny być wykonane odpowiednio wyregulowanym sprzętem, tak aby ziarniaki były w jak najmniejszym stopniu uszkodzone, ponieważ okrywa nasienna jest przeszkodą nie do sforsowania przez niektóre szkodniki. Ziarno, które ma być przechowywa-



Fot. 1. Wołek zbożowy (*Sitophilus granarius*) na tle uszkodzonego ziarna. Po lewej osobnik dorosły (chrząszcz), u dołu po środku larwa, u dołu po prawej poczwarka. Larwa i poczwarka zostały wyjęte z ziarniaków na potrzeby wykonania zdjęć. Oba te stadia zwykle przebywają wewnątrz ziarniaków.



Fot. 2. Wołek ryżowy (*Sitophilus oryzae*) na tle uszkodzonego ziarna. U góry po lewej chrząszcz, po prawej rozcięty ziarniak w którym widoczne są co najmniej dwie larwy wołka ryżowego.



Fot. 3. Trojszyki (*Tribolium* spp.). U góry po lewej chrząszcz trojszyka gryzącego (*T. castaneum*), u góry po prawej trojszyka ulca (*T. confusum*). Poniżej stadia preimaginalne: po lewej larwa a po prawej poczwarka, oba w różnych ujęciach.



Fot. 4. Kapturzik zbożowiec (*Rhyzopertha dominica*). Po środku chrząszcz na ziarniaku z wygrzyzionym, charakterystycznego kształtu otworem wyjściowym. Po lewej u dołu poczwarka spoczywająca w ziarniaku, po prawej u góry larwa w uszkodzonym ziarniaku.



Fot. 5. Spichrzek surynamski (*Oryzaephilus surinamensis*). Chrząszcz na ziarniaku.



Fot. 6. Spichrzek surynamski (*Oryzaephilus surinamensis*). Larwa w różnych ujęciach.

Tabela 2. Środki ochrony roślin zarejestrowane do dezynsekcji pustych pomieszczeń magazynowych, silosów zbożowych i paszowych

Substancja czynna	Nazwa handlowa	Zwalczany organizm	Dawka
Koncentrat do sporządzenia emulsji wodnej			
deltametryna	K-Obiol MAX	wołek zbożowy, trojszyk ulec, kapturnik zbożowiec, spichrzel surynamski, strąkowiec fasolowy oraz owady latające - skośnik zbożowiaczek	60 ml w 5 l wody/100 m ²
pirymifos metylowy	Actellic 500 EC	wołek zbożowy, spichrzel surynamski, trojszyk ulec	1 l + 9 l wody/1000 m ²
	Rovar 500 EC		
	Rovar Bis 500 EC		
	Wołek 500 EC		
Fumiganty			
fosforek glinu	Phostoxin Bag	szkodniki magazynowe, wołek zbożowy, wołek ryżowy, strąkowiec grochowy, strąkowiec fasolowy, trojszyk gryzący, kapturnik zbożowiec, skórojadka zbożowa, trojszyk ulec, rozplaszczyk rdzawy, spichrzel surynamski, żywiak chlebowiec, mącznik młynarek, świdrzyk cygarowiec, mklik, skośnik zbożowiaczek, omacnica spichrzanka, rozkruszek mączny	1 saszetka/1,11 m ³ -2,22 m ³ , 1 łańcuch/44,4 m ³ , 1 koc/222,2 m ³
	Phostoxin Tablet	wołek zbożowy, wołek ryżowy, strąkowiec grochowy, strąkowiec fasolowy, trojszyk gryzący, trojszyk ulec, rozplaszczyk rdzawy, spichrzel surynamski, żywiak chlebowiec, świdrzyk cygarowiec, mklik, omacnica spichrzanka	5-10 tabletek/m ³
	Delicia Gastoxin		
	Quickphos Bags	szkodniki magazynowe, kapturnik zbożowiec, mklik mączny, omacnica spichrzanka, rozplaszczyk rdzawy, skośnik zbożowiaczek, spichrzel surynamski, świdrzyk cygarowiec, trojszyk gryzący, trojszyk ulec, wołek kukurydziany, wołek ryżowy, wołek zbożowy, żywiak	15g / 1 m ³
fosforek magnezu	Degesch Plate/Degesch Strip	wołek zbożowy, wołek ryżowy, strąkowiec grochowy, strąkowiec fasolowy, trojszyk gryzący, trojszyk ulec, rozplaszczyk rdzawy, spichrzel surynamski, żywiak chlebowiec, świdrzyk cygarowiec, mklik próchniczek, omacnica spichrzanka	1 płytką/6 m ³ lub 1 taśmą/120 m ³ , czas ekspozycji 2,5-5 dni
Zadymianie			
pirymifos metylowy	Actellic 20 FU	wołek zbożowy, trojszyk ulec, spichrzel surynamski, kapturnik zbożowiec, omacnica spichrzanka, rozkruszek mączny	1 świeca/400-500 m ³
	Celtic Świeca 20 FU		
	Rovar 20 FU	wołek zbożowy, trojszyk ulec, spichrzel surynamski, kapturnik zbożowiec, omacnica spichrzanka, rozkruszek mączny	1 świeca na 400-500 m ³ pomieszczenia

ne przez co najmniej kilka miesięcy, nie może zawierać więcej niż 5% zanieczyszczeń. Jeżeli zanieczyszczeń jest więcej, ziarno należy oczyścić np. przy użyciu wialni. Najlepiej, aby przeznaczony do magazynowania surowiec miał w trakcie zbioru odpowiednio niską wilgotność i temperaturę. Rzadko jednak tak jest i najczęściej po zbiorze surowiec trzeba schłodzić i wysuszyć.

KONIECZNY JEST MONITORING

Monitoring szkodników (pojawienia się i obecności) jest nieodzownym elementem prawidłowej ochrony magazynowanych plonów. Należy monitorować zarówno puste pomieszczenia, jak i te zapełnione. Samo przeglądanie ziarna pozwala na wykrycie szkodników, gdy jest już za późno. Należy używać odpowiednich narzędzi przy prowadzeniu monitoringu, dostosowanych do poszczególnych szkodników. Gryzonie łatwo monitorować przy użyciu karmników deratyzacyjnych. Powinny one być rozmieszczone nie tylko wewnątrz magazynu, ale też przy jego ścianach zewnętrznych oraz przy ogrodzeniu obiektów magazynowych. Ubytek rodentycydu

w karmniku świadczy o obecności szkodników. Monitoring owadów – szkodników magazynowych wymaga sporej wiedzy i doświadczenia z uwagi na ogromną różnorodność tej grupy. Prostą metodą na wykrycie wołków i innych chrząszczy jest przesianie próbki ziarna przez sito o oczkach mniejszych niż rozmiar ziarniaków. Do wykrywania motyli magazynowych (mkliki, mól ziarniak i omacnica spichrzanki) świetnie sprawdzają się dedykowane pułapki feromonowe lub działające typowo mechanicznie. Pierwsze z nich służą głównie do wykrywania ich obecności. Do monitoringu występowania chrząszczy przebywających w masie ziarna można zastosować pułapki typu „pitfall”, które umieszcza się wewnątrz przyzmy lub w silosie. Mają one otwory umożliwiające wejście szkodników, które następnie uwięzione zostają w niżej położonym pojemniku. W sklepach zakupić można również zmodyfikowane tego typu pułapki w formie rur o perforowanych ściankach. Na rynku dostępna jest ogromna różnorodność pułapek. Pułapki należy kontrolować co najmniej raz w tygodniu. Po stwierdzeniu w nich szkodników należy podjąć odpowiednie działania:



Fot. 7. Mklik mączny (*Ephestia kuehniella*). Motyle na zniszczonych przez gąsienice płatkach owsianych. U dołu kopulująca para.



Fot. 8. Omacnica spichrzanka (*Plodia interpunctella*) na tle zniszczonego ziarna – widoczne wyjedzone zarodki ziarniaków i przędza wytwarzana przez gąsienice. Po lewej motyl (osobnik dorosły), po środku dwie gąsienice (larwy), po prawej poczwarka, która na potrzeby wykonania zdjęcia częściowo została wyjęta z oprędu.



Fot. 9. Skośnik zbożowiaczek (*Sitotroga cerealella*) na tle zasiedlonego ziarna. Po lewej u góry motyl na ziarniaku w którym się rozwinął – widoczny otwór, którym opuścił miejsce rozrodu. U dołu po lewej gąsienica w rozciętym ziarniaku. Gąsienicę (jej głowę) widać też w ziarniaku po prawej u dołu. Po prawej poczwarka w rozłupanym ziarniaku.



Fot. 10. Mącznik młynarek (*Tenebrio molitor*) na tle płatków owsianych. Od lewej chrząszcz, poczwarka i larwa.

- zidentyfikować szkodnika najlepiej do poziomu gatunku (czynność bardzo ważna, gdyż w pułapki mogą wpaść przypadkowe owady i podejmowanie kolejnych kroków może być zbędne),
- zlokalizować drogę wejścia szkodnika do magazynu i ją zlikwidować,
- w razie potrzeby przewietrzyć i schłodzić ziarno,
- wykonać zwalczanie chemiczne.

ZWALCZANIE SZKODNIKÓW W MAGAZYNACH

Zgodnie z zasadami integrowanej ochrony roślin chemiczne zabiegi zwalczania szkodników powinno się wykonać po przekroczeniu progu ekonomicznej szkodliwości. Dla wołka i kapturnika w ziarnie zbóż wynosi on 2 chrząszcze na 1 kg ziarna. Próg szkodliwości jest wartością umowną i może się różnić w zależności od długości okresu magazynowania i warunków panujących w tym czasie. Im dłuższy planowany czas przechowywania, tym próg szkodliwości jest niższy.

Przekroczenie progu szkodliwości jesienią w magazynach nieogrzewanych nie musi być przesłanką do podjęcia zwalczania chemicznego, ponieważ w niższej temperaturze owady stają się mniej aktywne, a w temperaturze panującej zimą praktycznie się nie rozmnażają i nie żerują. Liczebność szkodników w masie ziarna określa się pobierając próbki w różnych miejscach i łączy je w zbiorczą próbkę. Następnie zanieczyszczenia (w tym szkodniki) odsiewa się przy użyciu sita, a liczbę stwierdzonych szkodników przelicza się na kilogram masy ziarna.

ZABIEGI CHEMICZNE W MAGAZYNACH PUSTYCH I ZAPEŁNIONYCH

Obecnie zarejestrowanych do zwalczania szkodników magazynowych jest nieco ponad 30 preparatów opartych jedynie na kilku substancjach czynnych (cypermetryna, deltametryna, fluorek siarczany, fosfor glinu i magnezu, pirymifos metylowy i pyretryny) – stan na 29.02.2024 r. Zabiegi z użyciem preparatów chemicznych w magazynach najlepiej powierzyć wyspecjalizowanym firmom

Tabela 3. Środki ochrony roślin zarejestrowane do dezynsekcji płodów rolnych oraz produktów spożywczych

Substancja czynna	Nazwa handlowa	Zakres stosowania
Koncentrat do sporządzenia emulsji wodnej		
cypermetryna	Talisma EC	ziarno zbóż przeznaczone do konsumpcji i na paszę
deltametryna	Granprotec	ziarno zbóż (z wyjątkiem pszenicy)
	K-Obiol MAX	ziarno zbóż
pirymifos metylowy	Actellic 500 EC	ziarno siewne oraz przeznaczone do konsumpcji (pszenica, pszenżyto, jęczmień, owies)
	Rovar 500 EC	
	Rovar Bis 500 EC	
pyretryny	Pygrain New	pszenica, jęczmień, owies, żyto, ryż, kukurydza, sorgo (ziarno przeznaczone do przechowywania)
Fumiganty		
fosforek magnezu	Degesch Plate/Degesch Strip	ziarno zbóż, suszone owoce, suszone warzywa, wytloki, siano, ziola, rośliny lecznicze, orzechy, nasiona roślin oleistych, przyprawy, herbata, ziarna kakao, kawa, tytoń
fosforek glinu	APS	ziarno zbóż (pszenica, jęczmień, żyto, pszenżyto, owies, proso, sorgo) i nasiona grochu oraz materiał siewny
	APS Peletki	
	APS Tabletki	
	Fumiphos	
	Greenphos	
	Greenphos pellets 73 GE	
	Greenphos Pellets Professional 99,1 GE; 99,2 GE; 99,3 GE; 100 GE	
	Greenphos Tablets	
	Masterphos Peletki 56 GE	
	Masterphos Tabletki 56 GE	
	Morta	
	Quickphos Pellets 56 GE	
	Quickphos Tablets 56 GE	
	Sobieski 56 T	
Phostoxin Bag	ziarno, nasiona roślin strączkowych, nasiona roślin oleistych, suszone warzywa, suszone owoce, przyprawy, tytoń	
Delicia Gastoxin	ziarno zbóż, nasiona roślin strączkowych, nasiona roślin oleistych, tytoń	
Phostoxin Tablet		
Quickphos Bags	ziarno zbóż, ziarno ryżu	

DDD. Środki ochrony roślin do stosowania w magazynach są najczęściej bardzo toksyczne, szczególnie fosforowodór – gaz wydzielający się w trakcie fumigacji fosforkami metali. Fosforowodór działa nieselektywnie i skutecznie zabija pleśnie, bakterie, roztocze, owady, ale też i kręgowce (w tym również ludzi – praktycznie co roku dochodzi w Polsce do wypadków śmiertelnych z użyciem tego gazu). Nieprawidłowe użycie środków ochrony roślin może skutkować też uszkodzeniem wyposażenia magazynu. Fosforowodór może powodować korozję metali, dlatego wrażliwe elementy należy przed zabiegiem odpowiednio zabezpieczyć. Bezwzględnie należy przestrzegać zapisów etykiety (dane dostępne np. na stronie internetowej MRiRW oraz umieszczone na opakowaniach) i stosować tylko zarejestrowane środki ochrony roślin (Tabela 2 i 3). Zabieg fumigacji mogą wykonywać użytkownicy profesjonalni, którzy ukończyli szkolenie w zakresie stosowania środków ochrony roślin metodą fumigacji. Nie wystarcza tu podstawowe czy uzupełniające szkolenie w zakresie stosowania środków ochrony roślin.

Po uprzątnięciu magazynów przed przyjęciem ziarna należy przeprowadzić profilaktyczną dezynsekcję pustych obiektów ma-

gazynowych. Jest ona konieczna, gdyż nawet pomimo dokładnego sprzątnięcia roztocze i owady mogą przetrwać w różnego rodzaju kryjówkach. Przeznaczone są do tego preparaty do opryskiwania, świece dymne oraz fumiganty. Fumigacja oraz użycie świec dymnych daje lepszy efekt zwalczania niż opryskiwanie, gdyż gaz dociera do wszystkich, nawet niedostępnych dla cieczy opryskowej miejsc. Ponadto działa również na stadia szkodników trudne do zwalczania insektycydami kontaktowymi (jaja, larwy i poczwarki ukryte wewnątrz ziarniaków).

Do ochrony magazynowanego ziarna należy stosować tylko środki ochrony roślin posiadające rejestrację w tym zakresie, jednak w pustych obiektach oprócz nich można używać też tzw. biocydów. Są to produkty, które nie zostały przebadane pod kątem wpływu na magazynowane ziarno i nasiona. Należy zachować szczególną ostrożność przy ich stosowaniu oraz, podobnie jak w przypadku środków ochrony roślin zawsze przestrzegać zapisów etykiety.

dr inż. Tomasz Klejdysz
Instytut Ochrony Roślin-PIB w Poznaniu

Uwaga. Mikotoksyny!

Niektóre rodzaje grzybów wytwarzają w określonych warunkach metabolity silnie toksyczne dla ludzi i zwierząt. Metabolity te określa się mianem mikotoksyn.

Zapobieganie tworzeniu się mikotoksyn w efekcie porażenia ziarna powinno mieć charakter kompleksowy i najlepsze efekty osiąga się poprzez odpowiednią profilaktykę tj. właściwe działania poczynając już od etapu odpowiedniej agrotechniki. Ważny jest również dobór odmian mniej podatnych na porażenie przez toksynotwórcze grzyby, właściwa ochrona fitosanitarna, zapobieganie inwazji owadów uszkadzających nasiona. W fazie zbioru istotne znaczenie ma unikanie mechanicznego uszkodzenia ziarna (właściwe ustawienie kombajnu) oraz zabrudzenia masy ziarnowej ziemią, kurzem, łodygami i liśćmi chwastów. Również lokalne podwyższenie wilgotności dodatkowo sprzyja rozwojowi wszelkich mikroorganizmów.

W trakcie przechowywania ziarna powstawaniu mikotoksyn sprzyja szereg czynników, do których należą: wilgotność ziarna, temperatura, napowietrzanie, porażenie szkodnikami zbożowymi, obecność i rozwój mikroorganizmów oraz gryzoni, upływ czasu przechowywania, traktowanie chemikaliami, warunki przechowywania (zwłaszcza przeciekanie wody lub jej kondensacja), procesy samozagrzewania, intensywność światła.

Kłopoty z jakością przechowywanego ziarna rozpoczynają się najczęściej w okresie luty–marzec roku następnego po zbiorze ziarna, gdy warunki atmosferyczne mogą powodować zmiany temperatury ziarna przechowywanego w zbiornikach metalowych lub innych bez prawidłowej izolacji termicznej. Ale jeżeli „ziarno prosto z pola” nie zostało natychmiast po zbiorze prawidłowo przygotowane do składowania tj. oczyszczone, wysuszone a następnie schłodzone, to problemy z jego jakością będą występowały znacznie szybciej.

Wilgotność ziarna powinna być zredukowana do poziomu 13,0–13,5%, co znacznie ogranicza rozwój drobnoustrojów, a tym samym możliwość tworzenia toksyn. Według Chełkowskiego przy wilgotności ziarna około 15% wytwarzanie i nagromadzenie toksyn trwa wiele miesięcy, zaś przy wilgotności około 18% ten sam proces następuje w ciągu 10 tygodni.

Należy również pamiętać, że:

- Mikotoksyny mogą już powstawać na zbożu rosnącym jeszcze w polu.
- Mikotoksyny nie są rozmieszczone w sposób równomierny w porażonym nimi produkcie – w partii produktu występują „ogniska” o większym stężeniu toksyny niż wynika to z badania próbki średniej reprezentatywnej w odniesieniu do danej partii produktu.
- Liczne gatunki *Fusarium* są saprofitami, które dobrze rozwijają się na ziarnie zarówno zaraz po zbiorze, jak i podczas dłuższego przechowywania.
- W czasie magazynowania chore ziarniaki mogą zarazić zdrowe. Należy unikać składowania partii ziarna wolnego od porażenia w bezpośrednim sąsiedztwie ziarna porażonego grzybami wytwarzającymi mikotoksyny.

W trakcie przechowywania ziarna powstawaniu mikotoksyn sprzyja szereg czynników, do których należą: wilgotność ziarna (aktywność wodna), temperatura, napowietrzanie, porażenie szkodnikami zbożowymi, obecność i rozwój mikroorganizmów oraz gryzoni, upływ czasu przechowywania, traktowanie chemikaliami,





Ziarna pszenicy porażone przez fusarium z charakterystycznym różowym zabarwieniem

warunki przechowywania (zwłaszcza przeciekanie wody lub jej kondensacja), procesy samozagrzewania, intensywność światła.

Bezpieczne składowanie masy ziarnowej zależy również od rodzaju i stanu technicznego magazynu zbożowego oraz jego wyposażenia np. w urządzenia do pomiaru temperatury składowanego ziarna oraz do jego wietrzenia powietrzem atmosferycznym. Najbardziej bezpieczne w aspekcie zapobiegania rozwojowi pleśni, a tym samym powstania mikotoksyn, są elewatory zbożowe z komorami żelbetonowymi.

Podobnie bezpiecznie możemy składować ziarno w stalowych elewatorach zbożowych. W elewatorach takich dobrym izolatorem ciepła jest warstwa powietrza, znajdującą się w przestrzeni wokół zbiorników a zewnętrzną obudową całego elewatora, co gwarantuje stabilną temperaturę i wilgotność składowanego zboża.



Inna sytuacja jest w wolnostojących zbiornikach metalowych. Zewnętrzne zmiany temperatury powietrza, szczególnie w okresie wiosennym, oraz bezpośrednia operacja promieni słonecznych na ścianę zbiornika może powodować zmiany temperatury przechowywanego ziarna a nawet wykraplanie wody na ścianach zbiorników i na ziarnie. Stwarza to w konsekwencji bezpośrednie zagrożenie skażenia ziarna przez mikotoksyny.

Uważa się, że właściwie wykonane, płaskie magazyny zbożowe są również bezpieczne pod względem zabezpieczenia przed rozwojem pleśni i skażenia ziarna mikotoksynami. W magazynach płaskich dobrym izolatorem, gwarantującym stabilną temperaturę, jest powietrze otaczające masę zbożową. W magazynach tych wskazane jest, aby ziarno nie było sypane bezpośrednio na ścianę zewnętrzną magazynu, lecz składowane w systemie sąsiekowym, tak aby pomiędzy przechowywanym ziarnem a ścianą magazynu była wolna przestrzeń o szerokości około 80 cm.

Wyróżniki jakościowe, które mogą wskazywać na zwiększone zagrożenie rozwoju pleśni oraz wytworzenie mikotoksyn w trakcie przechowywania ziarna składowanego w magazynach, to wilgotność ziarna i zawartość niektórych grup zanieczyszczeń.

Im wyższa wilgotności ziarna przyjmowanego do magazynu tym większe zagrożenie rozwoju pleśni. Wilgotność ziarna niższa niż 14,5% powinna teoretycznie zapewnić bezpieczne składowanie ziarna. Jednakże partia ziarna jest ze swej natury materiałem bardzo niejednorodnym i wilgotność oznaczona dla prawidłowo pobranej próbki nie oznacza całkowitej pewności, że w partii ziarna nie ma ziaren o wilgotności wyższej niż oznaczona dla tej partii ziarna na podstawie pobranej próbki. Takie ziarna stanowią potencjalne punkty wzrostu wilgotności ziarna oraz inicjowania procesu samozagrzewania, prowadzącego m.in. do powstawania mikotoksyn.

Poszczególne grupy zanieczyszczeń mogą zwiększać zagrożenie rozwoju pleśni w masie ziarna przechowywanego w magazynie zbożowym. Są to zwłaszcza „ziarna zbutwiałe” oraz „ziarna zniszczone”, których obecność świadczy o rozwoju pleśni zaistniałym w poprzednim okresie przechowywania danej partii ziarna. Ziarna porażone przez fusarium (zwykle źle wykształcone, pomarszczone i często o różowym zabarwieniu) również wskazują na możliwość ponownego rozwoju pleśni w danej partii ziarna.

Zwiększone ryzyko rozwoju pleśni może również wskazywać znacząca obecność grup zanieczyszczeń takich jak: „plewy” oraz „martwe owady lub ich pozostałości”. Duża ilość martwych owadów wskazuje, że ziarno było porażone przez szkodniki a następnie gazowane, co wskazuje na nieprawidłowe warunki przechowywania w poprzednim magazynie, co zwiększa również w „nowym” magazynie ryzyko wystąpienia rozwoju pleśni. Może to także ograniczyć możliwość wykorzystania tego ziarna na cele konsumpcyjne. Obecność „plew” nie jest groźna dla stanu masy ziarnowej, jeżeli są one suche, jasne, luźne i niezwiązane z ziarniakiem. Jeżeli natomiast jest obecna znaczna liczba ziaren pokrytych plewkami, to z reguły jest to wynikiem złego wymłócenia zbyt wilgotnego i zadeszczonego ziarna. Na plewach otaczających ziarno gromadzą się drobne zanieczyszczenia (np. piasek, kurz) oraz mikroorganizmy (zwłaszcza zarodniki pleśni). Takie plewki stają się punktem inicjującym rozwój pleśni a tym samym możliwość skażenia ziarna mikotoksynami.

Opracowano na podstawie publikacji
Jadwigi Rothkaehl



SFINANSOWANO Z FUNDUSZU
PROMOCJI ZIARNA ZBÓŻ
I PRZETWORÓW ZBOŻOWYCH



POLSKI ZWIĄZEK
PRODUCENTÓW
ROŚLIN
ZBOŻOWYCH

Przygotowano przez

MAGAZYN OGÓLNOPOLSKI
zagroda

na zlecenie
Polskiego Związku
Producentów Roślin Zbożowych