

BADANIE ROZKŁADU TEMPERATUR W SILOSIE BETONOWYM PODCZAS SCHŁADZANIA ZIARNA PSZENICY URZĄDZENIAMI GK-160 I KK-140

Izabela Kuna-Broniowska, Zdzisław Talik

Streszczenie. W pracy przedstawiona jest analiza rozkładu temperatur podczas wychładzania ziarna pszenicy w dużych silosach żelbetowych. Za pomocą analizy składowych głównych określono moment krytyczny oraz minimalny okres wychładzania ziarna w komorach. Wyznaczono czas, w którym parametry początkowe ziarna przestają dominować podczas wychładzania, a praca urządzenia chłodzącego zaczyna przynosić efekty.

Słowa kluczowe: sposoby przechowywania ziarna, parametry jakościowe ziarna, analiza składowych głównych, współczynnik korelacji

WSTĘP

Nowe warunki gospodarczo-ekonomiczne w Polsce spowodowały w ostatnich latach wiele istotnych zmian tak w sferze własnościowej gospodarstw rolnych, jak i w strukturze upraw polowych. Nastąpiło załamanie produkcji rolnej w sektorze publicznym i stopniowe jej przejmowanie przez powstające spółki i prywatne gospodarstwa wielkoobszarowe. Udział gospodarstw indywidualnych w produkcji zbóż w ciągu ostatniego dziesięciolecia uległ zwiększeniu o kilkanaście procent i w roku 1999 wynosił już blisko 90%. Jednocześnie ograniczenie produkcji okopowych spowodowało zwiększenie areалу uprawy podstawowych zbóż, które w roku 1990 wraz z mieszankami zbożowymi zajmowały 59,9% ogólnej powierzchni wszystkich zasiewów, natomiast w roku 1999 wielkość ta wzrosła do 69,1% [Mały Rocznik Statystyczny 2000]. Wielkość zbiorów podstawowych zbóż wraz z mieszankami zbożowymi wzrosła z 23 479 tys. t (średnia z lat 1991–1995) do 25 750 tys. t w roku 1999 [Mały Rocznik Statystyczny 2000].

Ziarno pozostawione w gospodarstwach rolnych oraz zakupione przez wyspecjalizowane firmy musi być magazynowane przez co najmniej kilku miesięcy, w tym okresie należy zadbać o zachowanie jego jakości technologicznej.

W gospodarstwach indywidualnych ziarno zebrane zarówno metodą tradycyjną, jak i kombajnami często przechowywano w budynkach gospodarczych w zaadaptowanych do tego celu pomieszczeniach. W gospodarstwach państwowych i spółdzielniach pro-

dukcyjnych bazę magazynową stanowiły silosy metalowe lub magazyny płaskie. W miarę wprowadzania zbioru kombajnowego dawne metody przechowywania nie dawały gwarancji zachowania dobrej jakości ziarna w długim okresie magazynowania. Ziarno zbierane w okresie żniw wykazuje zazwyczaj wilgotność względną powyżej 14% i temperaturę wyższą od 20°C, sprzyja to powstawaniu ognisk samozagrzewania się ziarna oraz rozwojowi owadów i mikroorganizmów.

Właściwe warunki przechowywania chronią ziarno przed szkodnikami, mikroorganizmami i gwarantują utrzymanie wymaganej jakości do celów konsumpcyjnych, przetwórczych i do siewu. Przechowywane ziarno może być chronione przed szkodnikami i mikroorganizmami różnymi metodami: mechanicznymi, biologicznymi, chemicznymi i zintegrowanymi. Nadal, najczęściej stosuje się metodę chemiczną, czyli tzw. fumigację. Fumiganty dotychczas stosowane mają coraz mniejszą skuteczność wskutek rosnącej odporności owadów i dlatego zastępowanie metod chemicznych innymi ekologicznymi i bardziej skutecznymi staje się koniecznością [Yamamoto i Mitsuda 1980].

Metodą ekologiczną, która eliminuje przyczyny rozwoju szkodników i mikroflory grzybowej jest przechowywanie ziarna w stanie ochłodzonym, w temperaturach poniżej 13°C. Taki sposób przechowywania ziarna, poza wyeliminowaniem rozwoju owadów i mikroflory grzybowej, w zasadniczy sposób ogranicza tzw. ubytki naturalne ziarna w wyniku oddychania oraz uszkodzeń mechanicznych podczas przemieszczania, powstające przy wykorzystaniu tradycyjnych metod przechowywania [Zawadzki 1994].

Prowadzenie prac badawczych przyczyniających się do zwiększenia bazy danych o procesie wychładzania ziarna, a w perspektywie opracowanie modelu matematycznego pozwalającego na symulację procesu chłodzenia ziarna w silosach o dużej objętości jest, w świetle przedstawionych faktów, pilną potrzebą. Wychładzanie ziarna, jak już wspomniano, ma na celu zahamowanie procesu pogarszania się jego jakości z powodu rozwoju grzybów oraz szkodników jak też ograniczenie ubytków naturalnych ziarna na wskutek oddychania zarodków. Temperatury graniczne, poniżej których zjawiska te zachodzą w bardzo ograniczonym zakresie pozwalając na długotrwałe przechowywanie ziarna są dobrze znane [Hlebionek 1992, Skriegan 1992, Ryniecki 2000].

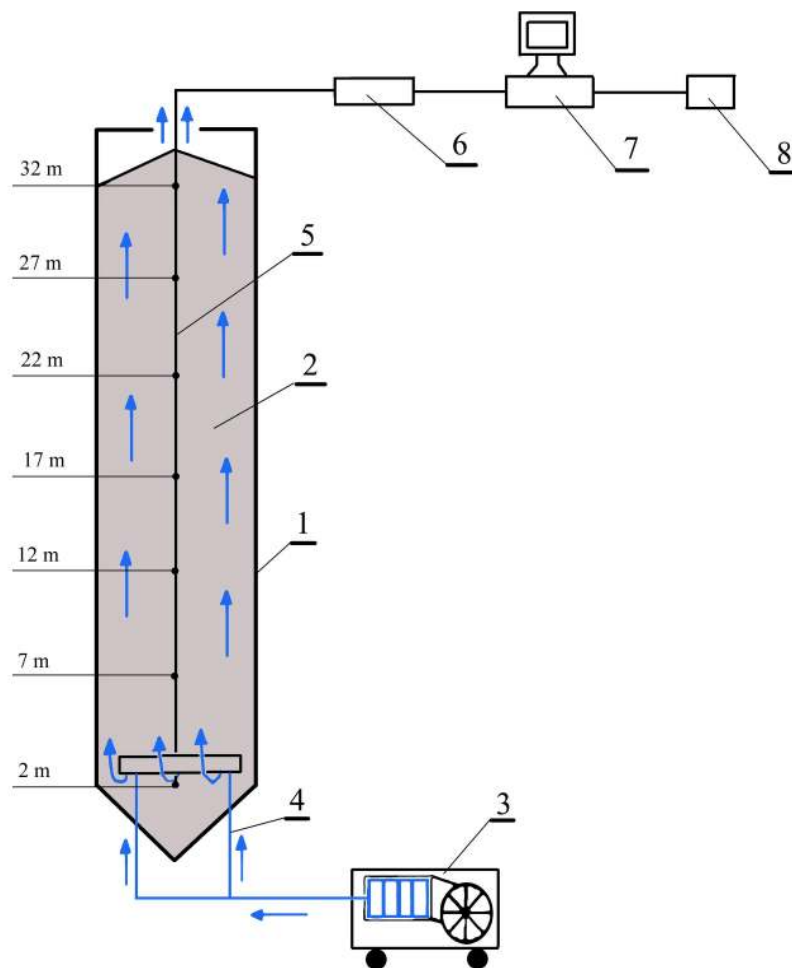
METODY

Problemem, który rozważano było przeanalizowanie rozkładu temperatur podczas wychładzania ziarna pszenicy w dużych silosach żelbetowych o grubości ścian 18 cm i pojemności około 700 ton przy wymiarach: średnica – 6 m, wysokość – 33 m i 31 m. Pomiaru temperatury dokonywano w 6 (dla komory o wysokości 31 m) lub 7 (dla komory o wysokości 33 m) centralnych punktach silosu rozmieszczonych równomiernie wzdłuż jego wysokości (rys. 1). Pomiar ten jest wystarczająco reprezentatywny dla całego poziomu, na którym umieszczono czujnik, ze względu na niską przewodność cieplną ziarna oraz dość niską przewodność ścian rozpatrywanego silosu żelbetowego.

Zmiany temperatury ziarna w komorze w zależności od czasu chłodzenia rejestrowano za pomocą specjalnego systemu pomiarowego składającego się z sondy pomiarowej z czujnikami temperatury działającymi na zasadzie termo rezystancji, przetwornika i komputera z oprogramowaniem opracowanym przez firmę „TERMONT” z Dąbrowy

Górnicej. Schemat poszczególnych elementów systemu przedstawiony jest na rysunku 1. Temperatura mierzona była z dokładnością do $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Wydatek wentylatora wynosił około $4000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ przy przeciwności (opozycji) 320 mm słupa wody. Chłodzenia ziarna dokonywano za pomocą urządzeń firmy Goldsaat typ GK-160 i firmy Sulzer typ KK-140.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – komora magazynu, 2 – ziarno chłodzone, 3 – agregat chłodzący, 4 – system doprowadzenia zimnego powietrza, 5 – sonda pomiarowa, 6 – przetwornik, 7 – komputer, 8 – drukarka

Fig. 1. Scheme of the research place: 1 – silo of the elevator, 2 – cooled seeds, 3 – cooling device, 4 – prociding system of cool air, 5 – measure device, 6 – converter, 7 – computer, 8 – printer

Badania nad chłodzeniem ziarna prowadzono w latach 1997–2000, wykorzystując magazynowane ziarno pszenicy. Ziarno w momencie przyjęcia do magazynu poddawano wstępnemu oczyszczeniu. Do celów badawczych wybierano komory napełnione ziarnem w 100%, co dawało pewność, że grubość warstwy ziarna w poszczególnych komorach o tej samej wysokości jest jednakowa. Chłodzenie rozpoczynano w okresie żniw lub bezpośrednio po żniwach po napełnieniu komory ziarnem pochodzącym ze skupu bezpośrednio z pól. W tym okresie temperatura ziarna kierowanego do komór była najwyższa, w momencie rozpoczęcia chłodzenia wahała się w granicach od 20 do 28°C i była uzależniona od temperatury powietrza atmosferycznego w czasie napełniania komory. Okres oczekiwania ziarna na wychładzanie był krótki, więc nie wystąpiła istotna zmiana jego temperatury w komorze ani też zmiana jego właściwości. W trakcie prowadzenia badań temperaturę powietrza chłodzącego ustawiano na stałą wartość 8°C.

Pomiaru temperatury dokonywano zazwyczaj jeden raz w ciągu doby o godzinie 7.00. Poszczególne komory z ziarnem chłodzono przez okres od 3 do 11 dni. Czas chłodzenia uzależniony był od temperatury początkowej ziarna, jednak względy techniczne magazynu zbożowego (zbyt mała ilość urządzeń chłodzących) zmuszały w niektórych przypadkach do przerwania procesu chłodzenia danej komory z uwagi na konieczność rozpoczęcia chłodzenia ziarna w innej komorze.

WYNIKI I DYSKUSJA

Omawiane doświadczenie ma charakter doświadczenia produkcyjnego, ponieważ pomiary były dokonywane podczas wychładzania zmagazynowanego ziarna zgodnie z potrzebami wynikającymi z konieczności utrzymania jego jakości. Przeprowadzenie doświadczenia według ustalonego planu nie było możliwe, wynikało to z braku dostatecznej ilości agregatów chłodzących. Zbyt mała ilość agregatów do wychładzania zmuszała niejednokrotnie do przerwania procesu wychładzania ziarna w danej komorze po to, aby rozpocząć chłodzenie w innej z powodu niebezpiecznie wysokiej temperatury ziarna. Czasami ziarno schładzano tylko do temperatury 14–15°C, co dawało możliwość jego przechowywania przez okres tylko 2–3 miesięcy. Jak wiadomo, czas życia i rozwoju szkodników ustępuje przy temperaturze poniżej 15°C, jest to jednak temperatura zbyt wysoka do przechowywania ze względu na możliwość rozwoju mikroorganizmów, dla których czas życia i rozwoju ustępuje w temperaturze poniżej 13°C i wilgotności poniżej 15,7%. Doświadczenie prowadzono przez okres 4 lat, niemniej jednak nie można było dokonać klasyfikacji chłodzonego ziarna zgodnie z parametrami wpływającymi na przebieg procesu wychładzania. Do takich parametrów, istotnie wpływających na przebieg procesu wychładzania, zaliczyć można:

1. Wilgotność rozdzieloną na 4 zakresy: suche do 14%, średnio suche 14–15,5%, wilgotne 15,5–17% i mokre od 17%.
2. Temperaturę początkową ziarna podzieloną na 10 przedziałów o długości 2°C w zakresie od 11 do 31°C. (Taki zakres temperatur ziarna obserwowano podczas trwania doświadczenia).
3. Porowatość ziarna podzieloną na 3 zakresy: 35,0–38,3%, 38,4–41,7%, 41,8–45%.

4. Wyrównanie. Obserwowane wyrównanie ziarna (%) zawarte było w przedziale 51–86% i zostało podzielone na 7 przedziałów o długości 5%.

5. Wysokość komory 33 m lub 31 m.

6. Wydajność agregatu chłodzącego – używano 2 typów agregatów chłodzących różniących się wydajnością.

7. Długość czasu wychładzania, jest to zmienna zależna od wyżej wymienionych czynników, jednak czas wychładzania był określany zależnie od konieczności rozpoczęcia wychładzania w innej komorze, dlatego w tym doświadczeniu nie rozpatrywano charakteru tej zależności.

8. Położenie ziarna w komorze, tj. odległość od agregatu chłodzącego oraz odległość od początku i końca komory. Przyjęto, że tutaj mamy tyle poziomów, ile jest czujników w komorze, tj. 6 lub 7 w zależności od wysokości komory.

Wilgotność ziarna w całym doświadczeniu zaliczała się do II klasy (średnio suche), więc tego czynnika klasyfikującego nie rozpatrywano, pamiętając jedynie, że wnioski dotyczyć będą ziarna średnio suchego.

Temperatury początkowe ziarna zależały przede wszystkim od warunków meteorologicznych w okresie zbiorów danym roku i zaliczają się do przyczyn losowych. Wystąpiła tutaj duża zmienność tego czynnika, co nie dało możliwości sklasyfikowania ziarna ze względu na temperaturę. Z uwagi na to, że ściany komór zbożowych elewatora w Krasnymstawie są wykonane z betonu, różnica temperatur pomiędzy ziarnem i powietrzem atmosferycznym w trakcie chłodzenia była niewielka, a czas chłodzenia był stosunkowo krótki oraz ziarno wykazuje niską przewodność cieplną, pominięty został wpływ temperatury powietrza zewnętrznego na temperaturę ziarna w momencie prowadzenia badań.

Pominięty również został wpływ porowatości ziarna i prędkości przepływu powietrza przez warstwę ziarna. Uznano, że czynniki te podczas badań we wszystkich komorach były porównywalne ze względu na znikome różnice pomiędzy oporami warstwy ziarna, które bezpośrednio zależą od porowatości ziarna i prędkości przepływu powietrza.

Jedynym czynnikiem, który może być użyty do klasyfikacji materiału doświadczalnego, są czujniki rozumiane jako poziomy wewnątrz komory. Temperatury ziarna w kolejnych dniach pomiaru rozpatrywano jako badane zmienne. Przyjęte uproszczenia i założenia wynikają z parametrów technicznych badanych silosów i urządzeń chłodzących, jak też z wartości cech jakościowych schładzanego ziarna w latach 1997–2000. Wnioski uzyskane z analizy statystycznej omawianego doświadczenia będą dotyczyły rozkładu temperatur dla przyjętych założeń odnośnie komór i urządzeń chłodzących oraz parametrów ziarna.

Obserwacje (pomiaru temperatury) dokonywane były na tych samych poziomach komory (6 lub 7 poziomów) przez okres 8–12 dni, obserwowano zatem wartości 8 do 12 zmiennych. Pomiarów temperatury dokonano w 32 komorach, łączna liczba pomiarów wynosiła 246. Liczba danych poddawanych analizie statystycznej zmieniała się w zależności do przyjętego kryterium co do długości czasu wychładzania. Analizowany proces wychładzania odpowiada wymaganiom modelu Markowa, który jest modelem zależności zmiennych uporządkowanych przez czas, gdzie zależność jest określana tylko poprzez zmienną obserwowaną w czasie bezpośrednio poprzedzającą dany

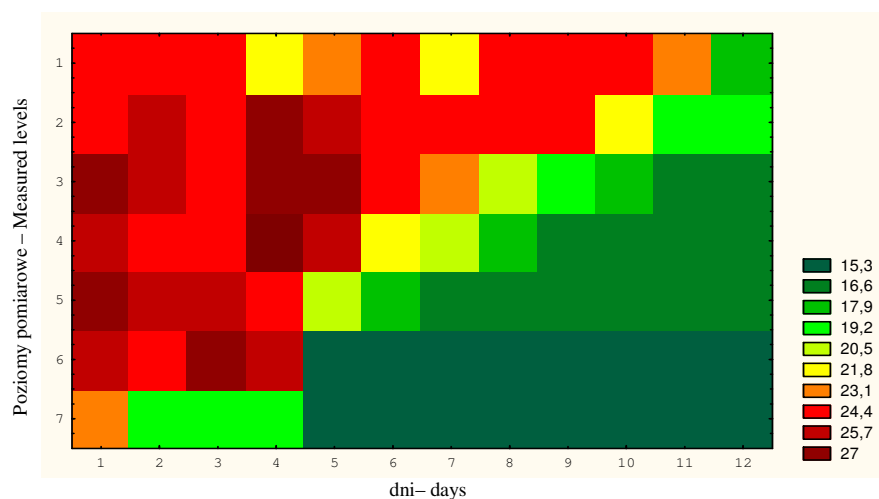
pomiar. Z powodu niekontrolowanych poziomów czynników istotnie wpływających na przebieg procesu wychładzania ziarna zastosowanie tego modelu było niemożliwe.

Tabela 1. Współczynniki korelacji między badanymi zmiennymi
Table 1. The correlation coefficients between considered variables

Dni chłodzenia Cooling days	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,00	0,81	0,65	0,45	0,40	0,24	0,18	0,17	0,27
2	0,81	1,00	0,89	0,70	0,52	0,39	0,26	0,16	0,23
3	0,65	0,89	1,00	0,91	0,77	0,64	0,50	0,38	0,41
4	0,45	0,70	0,91	1,00	0,94	0,84	0,70	0,56	0,53
5	0,40	0,52	0,77	0,94	1,00	0,93	0,83	0,73	0,68
6	0,24	0,39	0,64	0,84	0,93	1,00	0,96	0,88	0,81
7	0,18	0,26	0,50	0,70	0,83	0,96	1,00	0,97	0,91
8	0,17	0,16	0,38	0,56	0,73	0,88	0,97	1,00	0,97
9	0,27	0,23	0,41	0,53	0,68	0,81	0,91	0,97	1,00

Wartości temperatury w kolejnych dniach pomiaru są silnie skorelowane ($r_{xy} \geq 0,8$), (tab. 1.) Przy stałej pracy agregatu chłodzącego można dość dobrze prognozować wartości temperatury ziarna w warstwie na podstawie temperatury z dnia poprzedniego począwszy od 4. dnia ($r_{xy} \geq 0,94$, tabela 1), co potwierdza sugestię o możliwości opisanie zjawiska za pomocą modelu Markowa.

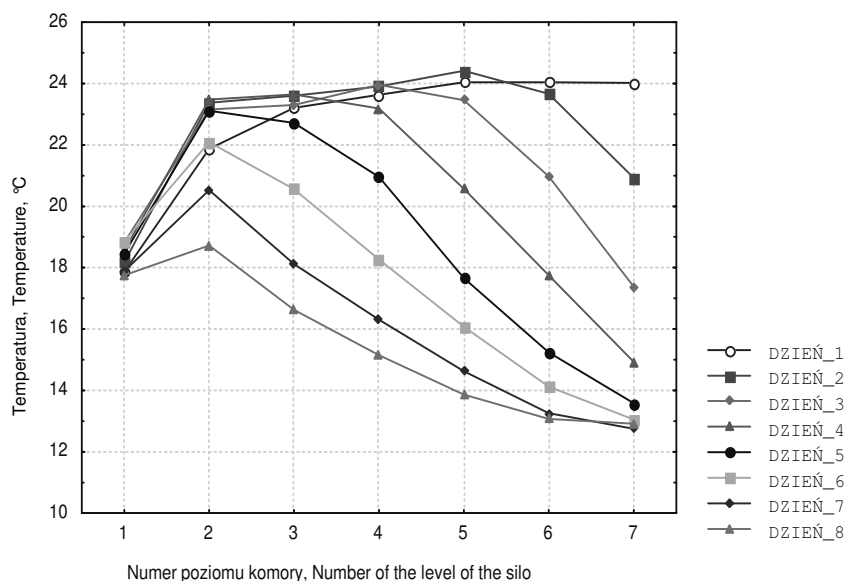
Najdłuższy czas wychładzania ziarna wynosił 12 dni i wystąpił tylko jeden raz. Dane z tego najdłuższego procesu wychładzania wykorzystano do wstępnego przeanalizowania przebiegu zjawiska na wszystkich poziomach komory.



Rys. 2. Rozkład temperatur w komorze, °C
Fig. 2. The temperature distribution in silo, °C

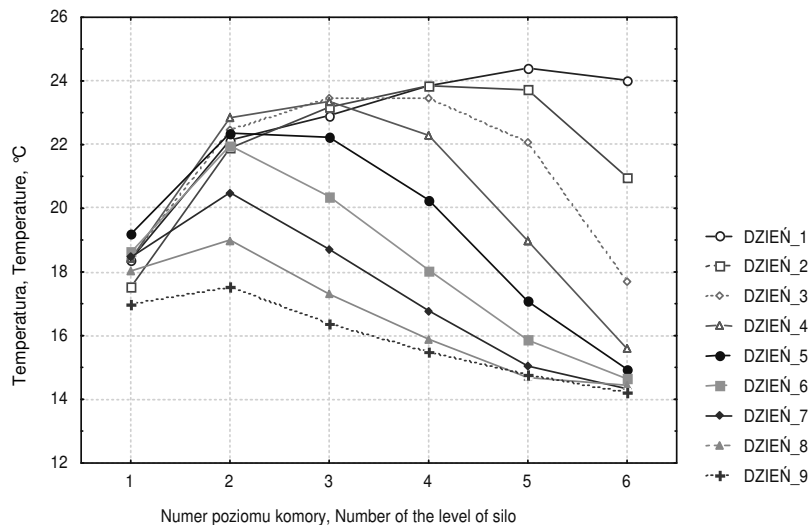
Jak widać na wykresie (rys. 2), proces stabilizuje się dopiero po 4 dniach prowadzenia wychładzania i zjawisko zaczyna przebiegać bardzo podobnie na wszystkich badanych poziomach (uwzględniając jednodniowe przesunięcie, rys. 2). Przed upływem 4 dni temperatura ziarna na środkowych poziomach zaczyna wzrastać na wskutek przemieszczania się mas powietrza, które ogrzało się na wskutek przechodzenia przez niższe położone ciepłe warstwy ziarna. Czujnik położony najwyżej często nie był zakryty przez ziarno, co powodowało dużą zmienność wskazań temperatury i dlatego wyniki pomiarów z tego czujnika zostały uznane za mało miarodajne. Poziomy z czujnikami od 6 do 2 włącznie przedstawiają niemal identyczny schemat wychładzania ziarna, począwszy od 5. dnia włącznie, czujnik 7. jako ten, który jest położony najbliżej agregatu chłodzącego, wykazuje nieco inną reakcję na pracę tego agregatu. Pokażemy teraz przebieg zmian temperatury na poszczególnych poziomach wychładzania w ciągu 8 i 9 dni.

Poniżej na wykresach (rys 3 i 4) prezentowane są wartości średnich temperatur (w °C) na poszczególnych poziomach komory oddzielnie dla komory 33 m i 31 m. Jako pierwsza jest prezentowana komora o wysokości 33 m z 7 badanymi poziomami wychładzania ziarna. Wykres wartości temperatur w tego typu komorze został sporządzony na podstawie wyników uzyskanych z 11 komór, w tym 5 komór z 10 dniami chłodzenia, 3 komór z 9 dniami chłodzenia oraz 3 komór z 8 dniami chłodzenia.



Rys. 3. Średnie temperatury na 7 poziomach komory w czasie 8 kolejnych dni chłodzenia
Fig. 3. Means temperatures on 7 levels of elevator during the 8 following days of cooling

Wykres średnich temperatur w komorze o wysokości 31 m został sporządzony na podstawie wyników z 7 komór, w tym 1 komory z 11 dniami, 3 komór z 10 dniami oraz 3 komór z 9 dniami chłodzenia.

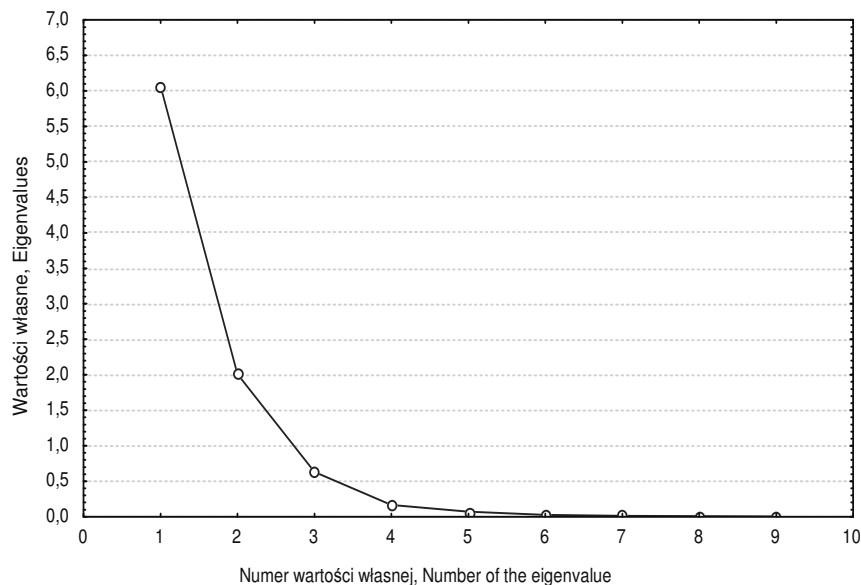


Rys. 4. Średnie temperatury na 6 poziomach komory w czasie 9 kolejnych dni chłodzenia
 Fig. 4. Means temperatures on 6 levels of elevator during the 9 following days of cooling

Temperatura ziarna na pierwszym, najwyższym poziomie utrzymuje się w granicach od 17 do 19°C, co potwierdza wcześniejsze przypuszczenia o braku zmian temperatury na tym poziomie pod wpływem wychładzania. Uzasadnienie takiej sytuacji wynika, jak już wspomniano, z braku dostatecznego przykrycia czujnika ziarnem. Na pozostałych poziomach kolejne dni chłodzenia prowadzą do znacznego zróżnicowania temperatury ziarna poprzez spadek jego temperatury na najniższych poziomach oraz wzrost na poziomach wyższych. Zjawisko to zanika po 4 dniach wychładzania, kiedy to obserwuje się już spadek temperatury ziarna na wszystkich badanych poziomach.

Najczęściej występującym czasem wychładzania ziarna był okres 8 dni, dlatego wartości parametrów opisowych i funkcji testowych obliczono przy okrojeniu danych doświadczalnych do 8 dni, część wyników z pomiarów dłuższych została pominięta. Jako badane zmienne rozpatrywano dni pomiaru, przy uwzględnieniu podziału według wielkości komory i poziomu czujnika. Wyniki z różnych komór tego samego typu zaobserwowane na takim samym poziomie traktowano jako powtórzenia.

Metodą składowych głównych [Morrison 1990] utworzmy zbiór nowych zmiennych będących liniowymi kombinacjami zmiennych badanych (dni pomiaru) tak, aby te nowe zmienne były ze sobą nieskorelowane i wzajemnie ortogonalne. Uzyskamy w ten sposób dekompozycję zmienności wyznaczonej dla wielowymiarowego zbioru obserwacji na zbiór nowych zmiennych w taki sposób, że I składowa będzie wyjaśniała możliwie największą część zmienności danych, II największą część pozostałej zmienności itd. Liczba składowych głównych będzie zależała od ilości wartości własnych macierzy kowariancji S z próby, jeżeli wartość własna jest mniejsza lub równa 1 to składowa związana z tą wartością wyjaśnia zmienność w mniejszym stopniu niż pojedyncza zmienna.



Rys. 5. Wartości własne macierzy kowariancji

Fig. 5. Eigenvalues of covariance matrix

Z rysunku 5 widać wyraźnie, że należy wziąć pod uwagę jedynie 2 wartości własne, ponieważ pozostałe są znacząco mniejsze niż jeden, zatem pierwotny zbiór 9 zmiennych zastąpiony zostanie dwoma składowymi głównymi.

Tabela 2. Wartości własne

Table 2. Eigenvalues

Nr wartości własnej N° of eigenvalue	Wartość własna Eigenvalue	% ogółu wariancji % of the whole variance	Skumulowane wartości własne Cumulative eigenvalues	Skumulowany % ogółu wariancji Cumulative % of the whole variance
1	6,066810	67,40900	6,066810	67,40900
2	2,011004	22,34449	8,077814	89,75349

W tabeli 2 podano dwie wybrane własne (większe niż 1) oraz odpowiadające im procenty ogółu zmienności, które są wyjaśniane przez składowe główne. Łącznie dwie składowe główne wyjaśniają 89,75% całkowitej zmienności obserwacji, jedynie 10,25% zmienności nie jest wyjaśnianych przez te składowe.

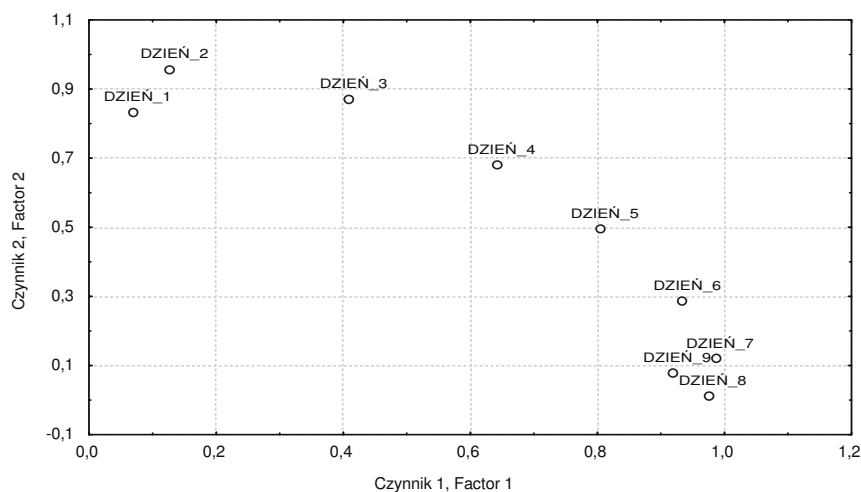
Ładunki czynnikowe podane w tabeli 3 są standaryzowanymi współczynnikami regresji w równaniu regresji wielorakiej wyrażającym zależność oryginalnych zmiennych od składowych głównych. Składowe główne można zatem zidentyfikować na podstawie zmiennych o najwyższych wartościach ładunków czynnikowych.

Tabela 3. Ładunki czynnikowe (oznaczone ładunki są > 0,70)

Table 3. Factors loading (the marked factors are > 0,70)

Zmienna – Variable	Czynnik 1 – Factor 1	Czynnik 2 – Factor 2
dzień – day 1	0,068163	0,835243*
dzień – day 2	0,126287	0,960058*
dzień – day 3	0,408309	0,873897*
dzień – day 4	0,641009	0,683205
dzień – day 5	0,803927*	0,497973
dzień – day 6	0,933490*	0,287118
dzień – day 7	0,985065*	0,121965
dzień – day 8	0,973443*	0,012186
dzień – day 9	0,917751*	0,080326
War. wyj. – Variance	40,876117	30,201697
Udział – Share	0,541791	0,355744

Pierwsze 3 dni chłodzenia zostały przypisane do drugiego czynnika, 4. dzień jest objaśniany w prawie równym stopniu przez obydwie składowe, natomiast pozostałe dni od 5. włącznie zostały przypisane do pierwszej składowej. Wykres ładunków czynnikowych czynnika II względem I jest graficzną prezentacją przypisania poszczególnych zmiennych do odpowiednich składowych (rys. 6).



Rys. 6. Ładunki czynnikowe-składowe główne

Fig. 6. Factor loading-principal component

Z analizy zasobów zmienności wspólnej (tab. 4) wynika, że łącznie dwie składowe główne objaśniają zmienność obserwacji w poszczególnych dniach pomiaru w co najmniej 85% (1. dzień) oraz w od 94 do 99,5% dla pozostałych dni (tabela 4, rys. 6).

Identyfikacja poszczególnych składowych opiera się na wiedzy praktycznej o analizowanym procesie. Pierwsze 3 dni pomiaru zostały przypisane do drugiego czynnika, można wnioskować, że czynnik ten odpowiada za warunki początkowe dotyczące tem-

Tabela 4. Zasoby zmienności wspólnej

Table 4. The common variation

Zmienna Variable	1 składowa 1 component	2 składowe 2 components	Wielokr. R ² Multiple R ²
dzień – day 1	0,001245	0,702278	0,850842
dzień – day 2	0,007825	0,937659	0,937602
dzień – day 3	0,139614	0,930412	0,965173
dzień – day 4	0,376583	0,877662	0,984318
dzień – day 5	0,614241	0,894275	0,971614
dzień – day 6	0,849135	0,953841	0,988929
dzień – day 7	0,959441	0,985228	0,995051
dzień – day 8	0,945197	0,947740	0,993125
dzień – day 9	0,835186	0,848719	0,966703

peratury ziarna oraz położenia warstwy ziarna wewnątrz komory. Dzień 4. pomiaru związany jest w prawie równym stopniu z warunkami początkowymi jak też z pierwszym czynnikiem, pozostałe dni od 5. do 9. włącznie są związane tylko z pierwszym czynnikiem. Piąty dzień pomiaru oraz następne dni sugerują, że warunki początkowe tracą już swoje znaczenie poprzez dość długi czas chłodzenia ziarna i przemieszczenie się na zewnątrz komory ciepłych mas powietrza, zatem pierwszy czynnik będzie reprezentował wydajność agregatu chłodzącego.

PODSUMOWANIE

Ziarno w komorach o wysokościach 33 m i 31 m powinno być wychładzane jednorazowo przez okres nie krótszy niż 6 dni, ponieważ na skutek przemieszczania się powietrza przez kolejne ciepłe warstwy ziarna podnosi się temperatura ziarna na poziomach środkowych komory. Okres chłodzenia krótszy niż 5 dni jest wręcz szkodliwy, ponieważ wzrasta wtedy temperatura ziarna położonego na środkowych poziomach, a przerwanie wychładzania nie daje możliwości szybkiego jej obniżenia. Nastąpi wówczas pogorszenie jakości ziarna w tej strefie poprzez bardziej intensywne oddychanie ziarna, rozwój mikroflory grzybowej, wzmożone rozmnażanie szkodników i dalszy samoistny wzrost temperatury ziarna.

Informacje uzyskane z przeprowadzonej analizy statystycznej rozkładu temperatur przyczyniają się do efektywnego wykorzystania urządzeń chłodzących, jak również do zoptymalizowania czasu wychładzania ziarna w badanych typach silosów zbożowych.

PIŚMIENNICTWO

- Hlebionek J., 1992. Chłodzenie zbóż – ważny czynnik ekonomicznego i jakościowego przechowywania plonów. *Przeł. Zboż.-Młyn.* 8 na podstawie tekstów Skriegana i wykładu z marca 1992. Wrocław. Z okazji I Wrocławskiego Sympozjum Zbożowego.
- Mały Rocznik Statystyczny 2000.
- Morrison, D. F., 1990. Wielowymiarowa analiza statystyczna. PWN, Warszawa.
- Roy S. N., 1957. *Some Aspects of Multivariate Analysis*, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Ryniecki A., 2000. Jak konserwować i przechowywać ziarno zbóż. *Przeł. Zboż.-Młyn.* 4.

- Skriegan E., 1992. Kühlung von Körnerfrüchten – ein wesentlicher Faktor wirtschaftlicher und qualitätserhaltender Nacherntebehandlung – Die Mühle und Mischfuttertechnik 129, 25, 355–358 i 26, 368–370.
- Yamamoto A., Mitsuda H., 1980. Characteristics of carbon dioxide gas adsorption by grain and its components. Controlled Atmosphere Storage of Grains, pod red. J. Shejbal, Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam. 247–258,
- Zawadzki K., 1994. Schładzanie zboża – pozytywny wpływ na jakość przechowywanego ziarna. Przegląd Zbozowo-Młynarski 8 (na podstawie „World Grain” 10, 1993).

**STUDY OF THE TEMPERATURE DISTRIBUTION IN CONCRETE SILO
DURING COOLING THE WHEAT SEEDS OFF WITH THE DEVICES
GK-160 AND KK-140**

Abstract. The paper deals with the analysis of the temperature distribution during cooling off wheat seeds in concrete silos. The minimum period and critical point of cooling off with using principal components analysis are fixed. The point of time, in which the beginning parameters have stopped of dominate and the work of the cooling device have began to take the effects, is delimited.

Key words: storage methods of the seeds, the quality parameters of the seeds, principal components analysis, correlation coefficient

*Izabela Kuna-Broniowska, Katedra Zastosowań Matematyki. Akademia Rolnicza w Lublinie,
e-mail: izakuna@ursus.ar.lublin.pl
Zdzisław Talik, Triticarr Sp. z o.o. w Krasnymstawie*