

Katarzyna Szwedziak

Akademia Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa

e-mail: kszwedziak@ans.edu.pl

ORCID: 0000-0003-1104-5143

Beata Detyna

Akademia Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa

e-mail: bdetyna@ans.edu.pl

ORCID: 0000-0002-4854-8433

Adam Busławski

Uniwersytet WSB Merito w Opolu

e-mail: adam.buslawski@opole.merito.pl

ORCID: 0000-0002-6329-278X

Marcin Pieczyński

Uniwersytet WSB Merito we Wrocławiu

e-mail: marcin.pieczynski@wsb.wroclaw.pl

ORCID: 0009-0007-8745-0133

DOI: 10.71433/2025.87.1.03

JEL: C10

ZARZĄDZANIE JAKOŚCIĄ ZIARNA MAGAZYNOWANEGO W ZAKŁADACH ROLNYCH – WYKORZYSTANIE SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH I AKWIZYCJI OBRAZU

© 2025 Katarzyna Szwedziak, Beata Detyna, Adam Busławski, Marcin Pieczyński

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe (CC BY 4.0).

Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cytuj jako: Szwedziak, K., Detyna, B., Busławski, A., Pieczyński, M. (2025). Zarządzanie jakością ziarna magazynowanego w zakładach rolnych – wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych i akwizycji obrazu. W: B. Detyna (red.), *Branża TSL. Strategie – trendy – perspektywy. Seria: Logistyka. Współczesne Wyzwania*, t. 15 (s. 31–47). Wydawnictwo Naukowe Akademii Nauk Stosowanych Angelusa Silesiusa.

Streszczenie

Przedmiot i cel pracy: Przemysł zbożowo-młynarski jest jedną z ważniejszych gałęzi polskiej gospodarki. Kluczową operacją w kontekście zagwarantowania jakości ziarna jest zarządzanie magazynami, do czego niezbędne jest systemowe podejście do procesów zachodzących w zakładach rolnych. Celem

rozdziału jest zaprezentowane roli i zadań magazynów zbożowych oraz wyników badań empirycznych, dotyczących procesów technologicznych w elewatorze „Opole – Port”. Ocenie poddano stan zanieczyszczenia ziarna pszenicy w badanym elewatorze.

Materiały i metody: W ramach badań dokonano analizy procesów technologicznych, takich jak: ważenie i pobieranie próbek, ocena jakości przyjmowanego zboża, wyładunek i transport, suszenie, aspiracja i separacja zanieczyszczeń, konserwacja, magazynowanie, a także redystrybucja. Przeprowadzony eksperyment dotyczył stanu zanieczyszczenia ziarna pszenicy w badanym elewatorze z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazu oraz aplikacji komputerowej „Leaf”. Otrzymane wyniki porównano z danymi uzyskanymi w laboratorium elewatora „Opole – Port” metodą mikroskopową.

Wyniki: Zaprezentowane wyniki dotyczą przykładowego elewatora, a wszystkie opisywane etapy w procesach technologicznych odnoszą się do potrzeby zapewnienia jak najlepszego poziomu jakości ziarna pszenicy w czasie jej magazynowania. W ramach wniosków opracowano rekomendacje do praktycznego zastosowania.

Wnioski: Wprowadzenie do zarządzania jakością w magazynach zbożowych innowacyjnych rozwiązań, takich jak wykorzystywanie sztucznych sieci neuronowych i akwizycji obrazu, to realizacja nowoczesnego modelu zarządzania, który może być z powodzeniem wykorzystywany w procesach zarządzania magazynami zbożowymi.

Słowa kluczowe: zarządzanie magazynem, zarządzanie jakością, sztuczne sieci neuronowe

1. Wprowadzenie

Magazynowanie ziarna to ważna operacja technologiczna w kontekście zarządzania jakością ziarna w czasie przechowywania. Celem zarządzania jakością ziarna w czasie magazynowania jest opracowanie technologii jak najkorzystniejszych warunków przechowywania, aby uzyskać odpowiednią jakość i przydatność ziarna do dalszego przetwarzania. Jednym z procesów życiowych ziarna mających wpływ na jakość jest oddychanie, ponieważ jest ono związane z procesami biochemicznymi zachodzącymi w ziarnie. Przemiany biochemiczne w ziarnie zależą od wilgotności i temperatury. Niekorzystna wilgotność i nieodpowiednia temperatura w czasie przechowywania mogą doprowadzić do rozwoju grzybów i pleśni, co znacząco obniży jakość przechowywanego ziarna, a nawet – do ogromnych strat. W czasie przechowywania jednym z elementów zarządzania magazynem powinien być cykliczny pomiar temperatury i wilgotności, aby utrzymać żądane parametry (Abdullah i in., 2004). Ziarno może być przechowywane w silosach lub w magazynach podłogowych z przepływem powietrza. Przechowywane ziarno powinno charakteryzować się jak najniższą wilgotnością i temperaturą, aby nie powstały ogniska zapalne grzybów i pleśni (Alexandratos i Bruinsma, 2012). Jeżeli zostaną zapewnione odpowiednie temperatura i wilgotność, nie będzie konieczności stosowania zabiegów konserwacyjnych, jak np. przerzucania zboża czy ponownego wietrzenia. W celu ograniczenia strat w czasie magazynowania uprzednio należy poddać ziarno suszeniu i aktywnemu wietrzeniu. W czasie magazynowania ważnymi czynnikami są: długość czasu składowania, ilość składowanego ziarna, czas składowania, cel magazynowania. Bardzo istotnym

czynnikiem jest również przestrzeganie zasad i warunków przechowywania (Banaszak i Detyna, 2016).

Przechowywanie ziarna zbóż jest kluczową operacją technologiczną, mającą na celu zapewnienie człowiekowi przetrwania. Magazyny przeznaczone są nie tylko do magazynowania, ale również do uszlachetniania (czyszczenie, konserwacja, dosuszanie, segregacja) ziarna zbóż oraz w zakresie niewymagającym maszyn specjalistycznych nasion roślin oleistych i motylkowych. Do magazynu dostarczane są nasiona przeznaczone na konsumpcję oraz reprodukcję (do siewu). Muszą być zatem spełnione odpowiednie warunki do wykonywania zabiegów odpowiadających wymaganiom ziarna konsumpcyjnego i siewnego z zachowaniem odrębności gatunkowej i odmianowej (Broda i Grajek, 2009).

Poszczególne elewatory stanowią aktualnie zaplecze magazynowe dla plonów pochodzących z arealów odpowiadających powierzchnią powiatom, na których zostały ulokowane (Szwedziak, 2019a). Dodatkowym wsparciem tej dziedziny przemysłu rolno-spożywczego jest wspomaganie informatyczne, które w coraz większym stopniu towarzyszy dziś wielu innym technologiom w rolnictwie (Du i Sun, 2005; Li i in., 2005, 2007; Maldenov i Dejanov, 2004; Qian i in., 2017).

W tym kontekście celem rozdziału jest zaprezentowanie roli i zadań magazynów zbożowych oraz wyników badań empirycznych, dotyczących procesów technologicznych na przykładzie elewatora „Opole – Port”. Przeprowadzona analiza dotyczyła takich procesów, jak: ważenie i pobieranie próbek, ocena jakości przyjmowanego zboża, wyładunek i transport, suszenie, aspiracja i separacja zanieczyszczeń, konserwacja, magazynowanie, a także redystrybucja. W ramach badań przeprowadzono eksperyment dotyczący stanu zanieczyszczenia ziarna pszenicy w elewatorze, z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazu oraz aplikacji komputerowej „Leaf”. Otrzymane wyniki porównano następnie z danymi uzyskanymi w laboratorium elewatora „Opole – Port” metodą mikroskopową. Wyniki badań stanowią jednoznaczny rekomendację, aby do zarządzania jakością w magazynach zbożowych wprowadzać innowacyjne rozwiązania, tj. wykorzystywanie sztucznych sieci neuronowych czy akwizycję obrazu. Model zarządzania oparty na innowacyjnych metodach i narzędziach może korzystnie wpłynąć na procesy zarządzania magazynami zbożowymi, a w konsekwencji – na jakość przechowywanego ziarna (Manickavasagam i in., 2008; Sanchez i in., 2008).

2. Elewator „Opole – Port” – charakterystyka procesów technologicznych

Elewator „Opole – Port” jako magazyn składa się z 36 komór o pojemności 230 ton oraz 22 komór o pojemności 200 ton. Teoretycznie jednorazowo może być w nim zmagazynowane 12 680 ton ziarna pszenicy. Na terenie elewatora usytuowane są laboratoria, w których prowadzi się oznaczenia laboratoryjne ziarna zarówno



Fot. 1. Widok zewnętrzny elewatora PZZ „Opole – Port”

Źródło: ze zbiorów autorów.

przyjmowanego, jak i przechowywanego. Magazyn ma także piec, dwie suszarnie węglowe, sterownię, pomieszczenie sterujące wagą. Podstawowe zadania elewatora stanowią: skup, magazynowanie, konserwacja, redystrybucja zboża (Szwedziak, 2019b). Elewator PZZ „Opole – Port” (fot. 1) realizuje swoje zadania z wykorzystaniem konkretnych procesów technologicznych, które można podzielić według kolejności na poszczególne etapy, takie jak: ważenie, pobór prób, ocena składu oraz jakości, wyładunek, transport wewnętrznelewatorowy, suszenie (w suszarni i przewiewie), aspiracja, separacja i odbiór zanieczyszczeń, magazynowanie i konserwacja, redystrybucja. Każdej operacji przyporządkowane są odpowiednie czynności wynikające z charakteru zastosowanej technologii. Różnice między operacjami są istotne ze względu na zarówno czas ich wykonania, jak i zakres wykonywanych zadań. Tylko właściwe wykonanie wszystkich zadań we wszystkich etapach procesu technologicznego gwarantuje prawidłowe funkcjonowanie elewatora jako całości.

Ważenie i pobieranie próbek

Ważenie dostarczanego zboża stanowi początek pracy elewatora. Odbywa się ono przy użyciu wagi towarowej, której stosowanie jest powszechne w przemyśle rol-

no-spożywczym (fot. 2a). Równocześnie z ważeniem odbywa się pobór prób zboża z przyczepy. W tym celu stosuje się pneumatyczną sondę pomiarową, której króciec poboru znajduje się bezpośrednio nad przyczepą. Ruchome ramię sondy pozwala na pobór prób z kilku jej miejsc ładunku (fot. 2b).



a)



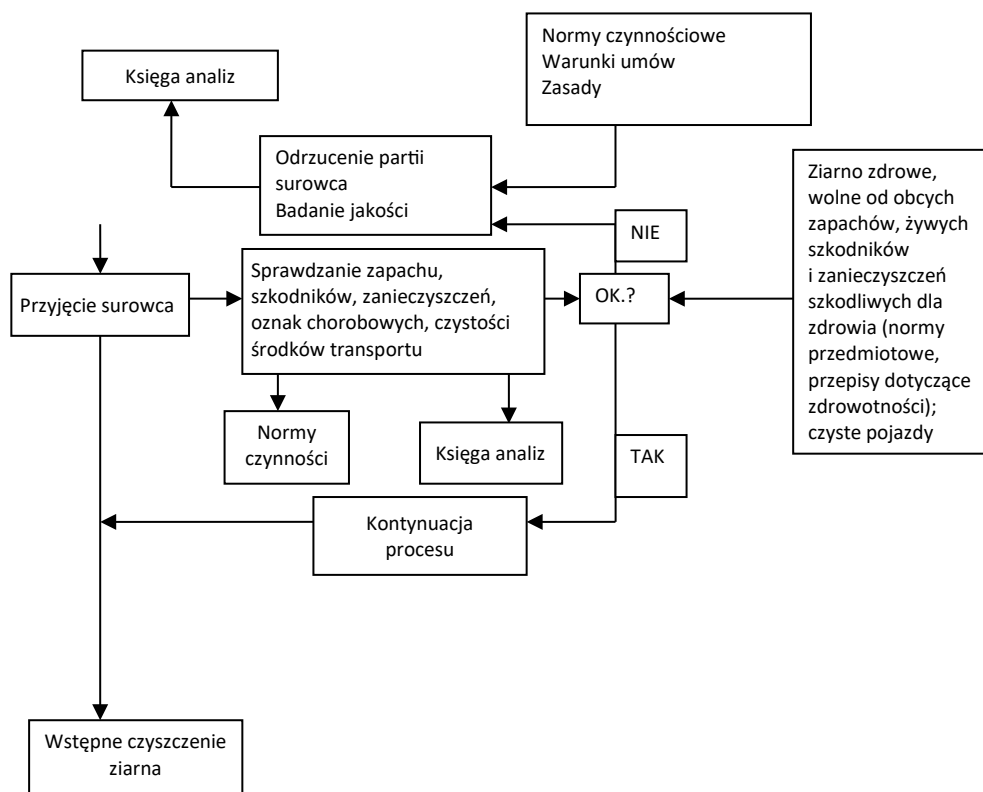
b)

Fot. 2. Początkowe czynności elewatora: a) waga towarowa do ważenia dostarczanego zboża; b) sonda pneumatyczna do oceny jakości przyjmowanego zboża

Źródło: ze zbiorów autorów.

Ocena jakości przyjmowanego zboża

Pobrany przez sondę materiał jest transportowany za pomocą instalacji pneumatycznej do laboratorium pomiarowego. W laboratorium zlokalizowanym na terenie elewatora „Opole – Port”, oprócz badań określających gęstość nasypową, dystrybuanty rozkładu średnich wymiarów ziaren, wilgotności, liczby opadania cząstek zmielonej wstępnie mąki, zawartość białka i glutenu, określa się także występowanie szkodników. Szkodniki polne nie stanowią niebezpieczeństwa dla elewatora, ponieważ najczęściej giną w czasie transportu wewnątrz elewatorowego. Wystąpienie nawet jednego szkodnika polnego w próbie dyskwalifikuje całą partię ziarna dostarczonego do elewatora. Zboże zarażone szkodnikami magazynowymi jest niebezpieczne dla całego elewatora. Warto wspomnieć, że najniebezpieczniejsze z punktu widzenia porażenia szkodnikami są dostawy prosto z pola. Nawet chwilowe magazynowanie zboża w nieodpowiednich warunkach może doprowadzić do porażenia. Z tego względu ważne jest na samym początku wyeliminowanie partii ziarna porażonego. W elewatorze „Opole – Port” kontrola jakości ziarna określana jest za pomocą tzw. pętli kontroli jakości – CCP1, która przedstawiona jest na rys. 1, na którym zaprezentowano sterowanie procesem produkcji podczas przyjęcia surowca do magazynu.



Rys. 1. Pętla zarządzania kontrolą jakości – CCP 1 – schemat sterowania procesem produkcji: przyjęcie surowca

Źródło: opracowanie własne.

Oceny badanych parametrów jakości dokonuje się na podstawie norm przy wykorzystaniu konwencjonalnych i nowoczesnych metod analizy. I tak po odebraniu pobranej próby (fot. 3a) gęstość nasypowa określana jest za pomocą naczynia miedzianego o określonej objętości, do którego nasypywane jest nieutrąszone zboże (fot. 3b), dystrybuantę średnich rozkładów ziaren wyznacza się za pomocą stosu sit (fot. 4a). Oceny zawartości glutenu oraz białka dokonuje się za pomocą nowoczesnego urządzenia spektrometrycznego (fot. 4c), czas opadania określany jest po uprzednim przemieleniu zboża przez młyn laboratoryjny (fot. 5a), natomiast o rodzaju występujących szkodników mączno-zbożowych powinna przypominać specjalnie umieszczona tablica (fot. 5b). Spośród występujących szkodników magazynowych najbardziej znane są: wołek, rozkruszek, rozplaszczyk i trojszyk.

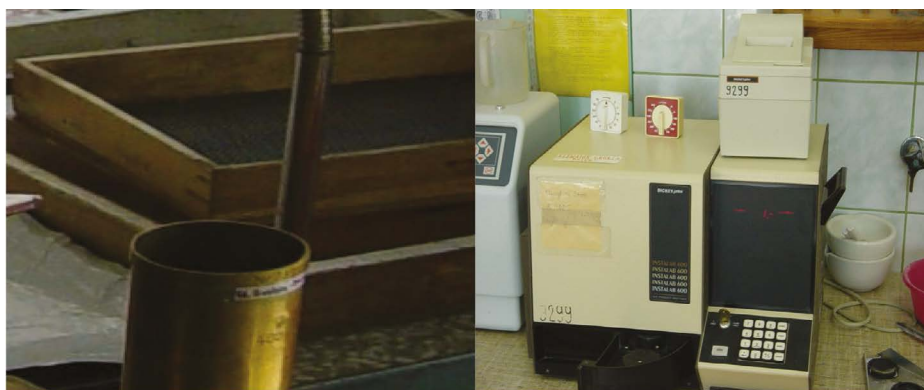


a)

b)

Fot. 3. Podstawowe wyposażenie i czynności w laboratorium badawczym: a) odbiór próby; b) badania gęstości nasypowej

Źródło: ze zbiorów autorów.



a)

b)

Fot. 4. Podstawowe wyposażenie i czynności w laboratorium badawczym: a) sita do oceny dystrybucji rozkładu wymiarów ziaren; b) spektrometr do oceny wilgotności oraz określenia ilości glutenu i białka

Źródło: ze zbiorów autorów.



a)

b)

Fot. 5. Podstawowe wyposażenie i czynności w laboratorium badawczym: a) zestaw do oznaczania czasu opadania cząstek zmielonego ziarna; b) tablica rodzajów szkodników mączno-zbożowych

Źródło: ze zbiorów autorów.

Wyładunek i transport

Wyładunek zboża następuje po zakwalifikowaniu dostawy do przyjęcia do elewatora. Warto dodać, że dostawca zgadza się na zaproponowaną cenę, jeżeli jego intencją była sprzedaż zboża, a nie potrzeba jego przechowania. Później dostawa jest transportowana do najbliższego sąsiedztwa komór silosów, gdzie następuje wyładunek do kosza wysypowego. Krata nad koszem stanowi oczywiste zabezpieczenie przed kontaktem z nim, jak również zapobiega przedostaniu się ewentualnych zgrubnych zanieczyszczeń. Umieszczone nad kratą odciągi pozwalają na odprowadzanie pyłu towarzyszącego wysypowi. Z dna kosza zboże jest przenoszone za pomocą przenośnika łańcuchowego do przenośnika kubekowego, którego zadaniem jest transport materiału do góry komory silosu.

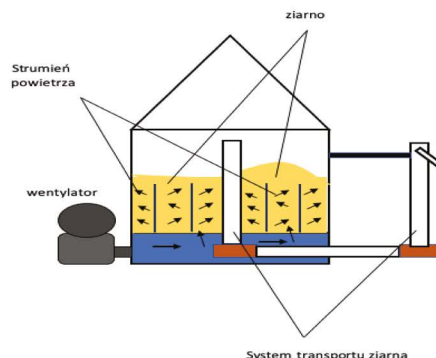
Suszenie

Po załadunku zboża do komory silosu najczęściej jest ono od razu kierowane do suszarni kaskadowej o działaniu ciągłym (fot. 6). W suszarni tej następuje obniżenie wilgotności o ok. 5% w każdym kolejnym cyklu suszenia. Przeciętna wydajność takiej suszarni to $Q_s = 40$ t/h. Zadaniem suszarni jest obniżenie wilgotności zbóż do ok. 14,5%, zatem czasami niezbędne są dodatkowe cykle suszenia.

Suszenie jest bardzo ważną operacją technologiczną w prawidłowym działaniu elewatora. Duża ilość wilgoci może zarówno pogorszyć jakość zboża, jego właściwości fizyczno-chemiczne (Szwedziak, 2019a), jak i stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa komory silosu. Wilgoć powoduje bowiem rozwój różnych form życia biologicznego



a)



b)

Fot. 6. Suszarnia zbóż: a) suszarnia kaskadowa; b) schemat suszenia zbóż

Źródło: ze zbiorów autorów.

w zbożu, co z kolei podnosi temperaturę ładunku i może doprowadzić do niekontrolowanych procesów samozapłonu (Godfray i Garnett, 2014). Dlatego w osi silosu w odstępach co 4 m umieszczone są czujniki pomiaru temperatury, kontrolujące jej rozkład w wybranych miejscach silosu. U dołu komór zamontowane są wentylatory pozwalające na okresowe suszenie w przewiewie. Suszenie w przewiewie jest szczególnie wydajne, gdy powietrze na zewnątrz elewatora jest suche i chłodne, na przykład podczas słonecznych zimowych dni, kiedy wektor przepływu wilgoci skierowany jest na zewnątrz komory silosu. Instalacja przewiewowa zapewnia dodatkowo chłodzenie ładunku. W sprzyjających warunkach atmosferycznych (długiej i suchej zimy) udaje się schłodzić ładunek do ok. 2 °C, jednocześnie nawet bardzo gorące lato nie jest w stanie spowodować wzrostu temperatury do więcej niż 5 °C. Suszenie w przewiewie prowadzi się przez ok. 8 godzin w ciągu dwóch kolejnych dni. Maksymalna krytyczna temperatura we wnętrzu komory nie może przekroczyć 27 °C (Chai, 2016).

Aspiracja i separacja zanieczyszczeń

Powstawanie i unoszenie się zawiesiny pylisto-powietrznej towarzyszy każdemu przemieszczeniu ładunku zboża. Przemieszczanie takie na skutek transportu wewnętrznelewatorowego jest z kolei operacją częstą i bardzo oczywistą w procesach technologicznych elewatora (Mohan i in., 2004). Istotne jest zatem, aby w każdej sytuacji związanej z transportem zboża zapewnić aspirację zanieczyszczeń przy użyciu odpowiednich odciągów (aspiratorów). Aspiratory umieszczane są we wszystkich miejscach związanych z wyładunkiem i przerzutem zboża.

Konserwacja i magazynowanie

Magazynowanie, obok pielęgnacji, stanowi podstawowe zadanie elewatora. Materiał składowany w komorach silosów oczekuje średnio ok. 18 miesięcy do czasu przerobu na mąkę, śrutę itp. W elewatorze przechowuje się wszystkie gatunki zbóż, zapewniając im stałą jakość. Dopuszczalne ubytki dla ziaren podstawowych zbóż wynoszą masowo do 0,15%, natomiast dla nasion kukurydzy – do 0,45%. W tych wartościach zawiera się także ubytek biologiczny szacowany na 0,01% masy ładunku. Składowany materiał poddawany jest wszystkim wymienionym w poprzednich podrozdziałach procesom technologicznym. Sieć połączeń między poszczególnymi komorami pozwala na przerzut ziarna na dowolną odległość, z dowolnej komory.

Redystrybucja

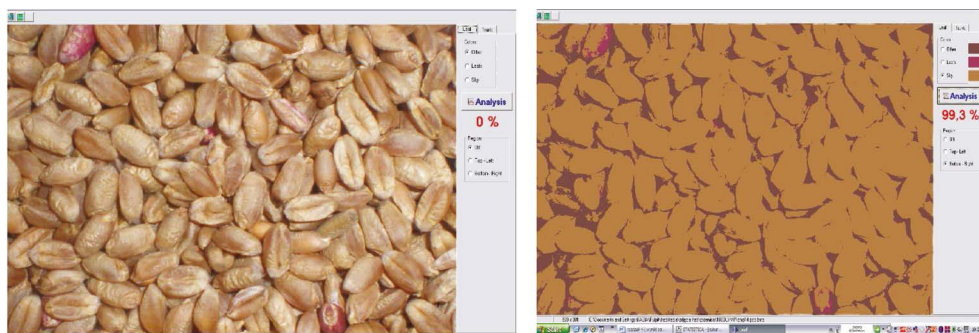
Redystrybucja ziaren zbóż ma miejsce, gdy kończy się czas magazynowania materiału. Jest to okres, kiedy zboża powinny zostać poddane kolejnym operacjom technologicznym związanym z ich przeróbką (już poza terenem elewatora). Zgłaszają się wówczas poszczególni nabywcy (kupujący) lub właściciele (przechowujący). Ładunek jest oczywiście w pełni zautomatyzowany. W jego trakcie następuje szybkie ważenie w wadze zasypowej o dużej wydajności. W zależności od tego, czy odbiór zboża odbywa się przy wykorzystaniu transportu samochodowo-ciągnikowego, czy też rzecznego, materiał kierowany jest bądź do przyczep u podnóża elewatora bądź do portu rzecznego.

3. Ocena jakości ziarna pszenicy w czasie magazynowania

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu dotyczącego stanu zanieczyszczenia ziarna pszenicy w elewatorze „Opole – Port” w czasie magazynowania, za pomocą komputerowej analizy obrazu z wykorzystaniem aplikacji komputerowej „Leaf”, uzyskano procentową zawartość zanieczyszczeń w nasionach pszenicy. Otrzymane dane empiryczne porównano z doświadczalnymi danymi uzyskanymi w laboratorium elewatora „Opole – Port” metodą mikroskopową. Na fotografiach 7-9 przedstawiono wybrane losowo próby i ich wyniki. Za pomocą aplikacji do akwizycji obrazu „Leaf” pokazano rozpoznawanie barw odpowiadających zanieczyszczeniom nasion pszenicy.

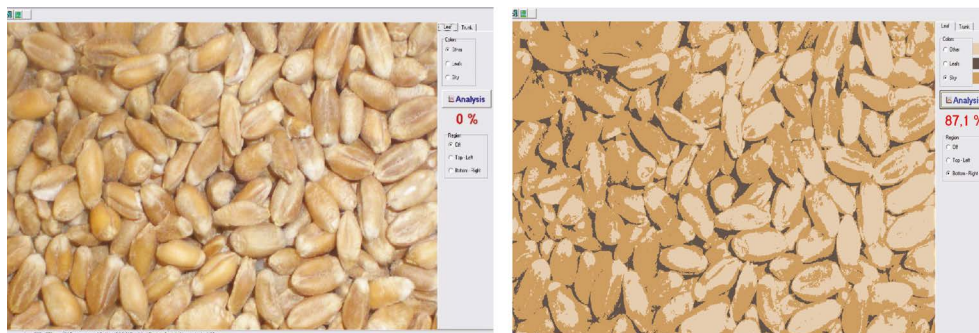
Wykorzystując uzyskane wyniki, sporządzono wykres procentowego udziału zanieczyszczeń w masie nasion pszenicy na podstawie zweryfikowanych danych uzyskanych za pomocą metody komputerowej analizy obrazu (rys. 2).

Dodatkowo wykonano analizę sitowo-wagową zanieczyszczeń w masie nasion pszenicy, której wyniki porównano z wynikami uzyskanymi za pomocą komputerowej analizy obrazu. Na rysunku 3 przedstawiono porównanie rezultatów obu metod.



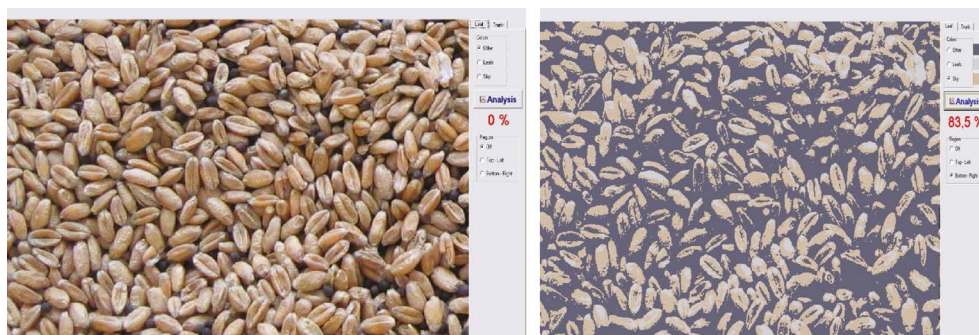
Fot. 7. Analiza obrazu cyfrowego zanieczyszczeń nasion pszenicy dla próby 2 o wilgotności 14,5% i czystości nasion na poziomie 99,3%

Źródło: opracowanie własne.



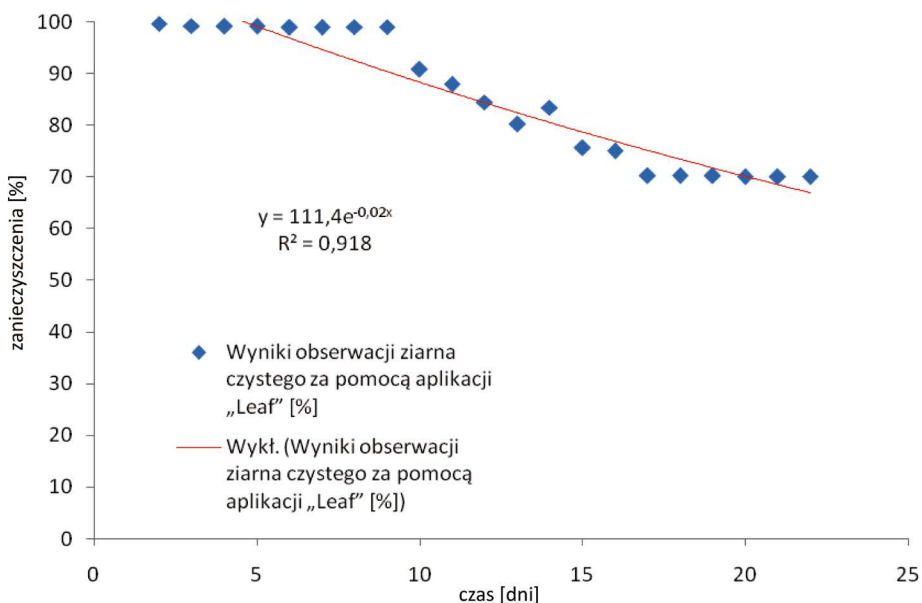
Fot. 8. Analiza obrazu cyfrowego zanieczyszczeń nasion pszenicy dla próby 17 o wilgotności ziarna 15,5% i czystości ziarna na poziomie 87,1%

Źródło: opracowanie własne.



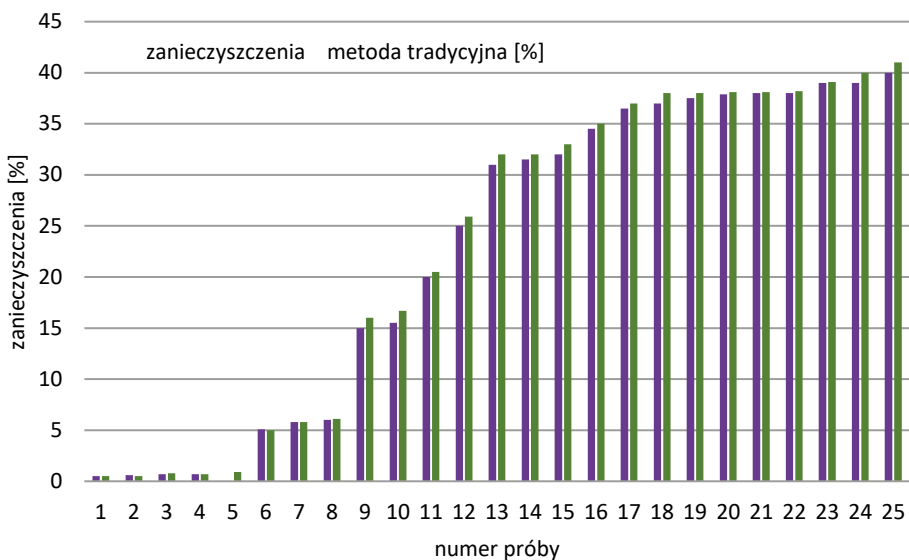
Fot. 9. Analiza obrazu cyfrowego zanieczyszczeń nasion pszenicy dla próby 13 o wilgotności 15,1% i czystości ziarna na poziomie 83,5%

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Graficzne przedstawienie wyników uzyskanych za pomocą komputerowej analizy obrazu

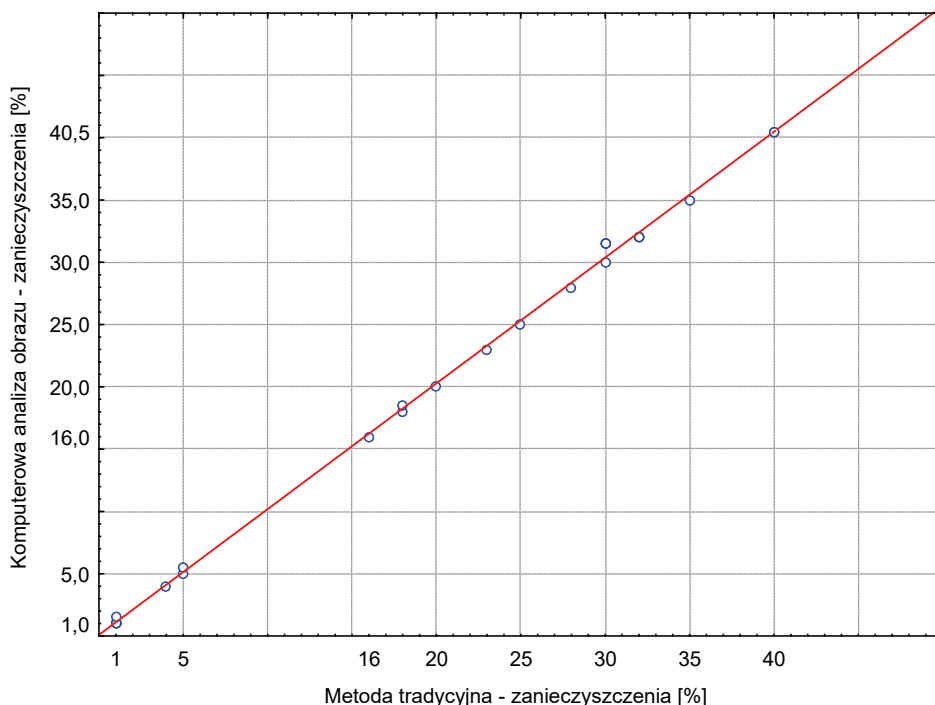
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Graficzne przedstawienie wyników uzyskanych za pomocą komputerowej analizy obrazu oraz metodą wagowo-sitową dla poszczególnych prób zanieczyszczenia nasion pszenicy

Źródło: opracowanie własne.

Dodatkowo na podstawie uzyskanych danych empirycznych dokonano dla obu metod określenia procentowej ilości zanieczyszczeń wykres dopasowania (rys. 4). Wykres ten sporządzono, wykorzystując funkcję o ogólnej postaci: $y = a + bx$, R^2 wynosił 0,9999 (Gonzales-Barron i Butler, 2006).



Rys. 4. Wykres dopasowania danych empirycznych procentowego udziału zanieczyszczeń nasion pszenicy uzyskanych za pomocą analizy obrazu do danych empirycznych uzyskanych metodą tradycyjną (wagowo-sitową)

Źródło: opracowanie własne.

Dodatkowo do analizy wykorzystano sieci neuronowe (Iqbal i in., 2010; Kręcińo i Krzyśko-Łupicka, 2015). Modele wygenerowano za pomocą Automatycznego Projektanta, przyjmując następujące założenia:

- zmienna wejściowa: ilość zanieczyszczeń określona w procentach za pomocą metody tradycyjnej (wagowo-sitowej), dla 25 prób,
- zmienna wyjściowa: ilość zanieczyszczeń określona w procentach za pomocą komputerowej analizy obrazu, dla 25 prób,
- projektowane modele: sieć liniowa, perceptron trójwarstwowy, perceptron czterowarstwowy,
- funkcja aktywacji: liniowa.

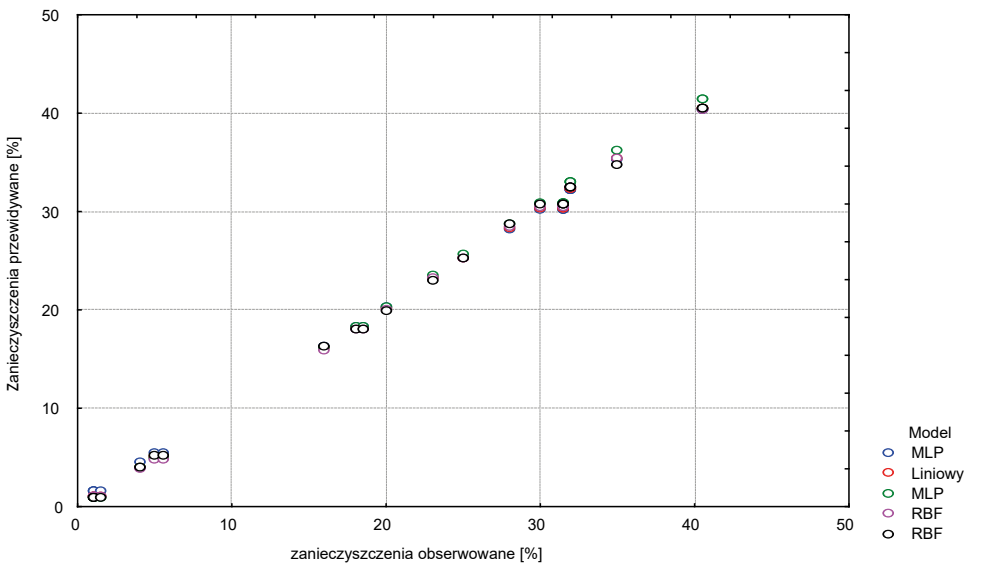
Spośród dziesięciu modeli sieci wygenerowano pięć modeli spełniających najlepsze kryteria doboru. Wybrano jeden model sieci typu liniowego, dwa modele sieci typu RBF, dwa modele sieci typu MLP (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyki pięciu wybranych modeli sieci neuronowych dla wariantu zanieczyszczeń w masie nasion pszenicy

Typ sieci	Schemat sieci	Jakość uczenia	Jakość walidacji	Jakość testowania	Błąd uczenia	Błąd walidacji	Błąd testowania	Liczba wejść	Liczba warstw ukrytych
RBF	1:5-1-1:1	0,017	0,033	0,032	0,0007	0,0007	0,00074	1	8
RBF	1:1-7-1:1	0,020	0,040	0,023	0,0008	0,0010	0,00053	1	0
MLP	1:1-8-1:1	0,032	0,042	0,033	0,0079	0,0053	0,0049	1	3
MLP	1:1-3-1:1	0,029	0,048	0,015	0,0066	0,0060	0,0041	1	5
Liniowa	1:1-1:1	0,021	0,038	0,022	0,0048	0,0053	0,0027	1	7

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie charakterystyk modeli sieci neuronowych wygenerowano wykres dopasowania modelu, biorąc pod uwagę średnie przewidywane (rys. 5).



Rys. 5. Dopasowanie modeli sieci neuronowych do danych przewidywanych

Źródło: opracowanie własne.

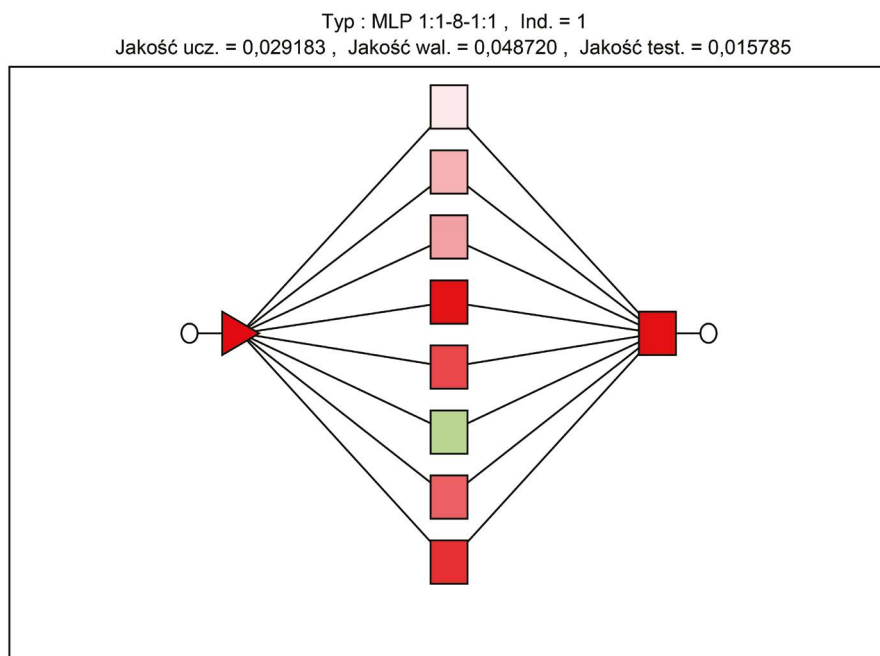
W tabeli 2 przedstawiono wartości współczynnika korelacji dla poszczególnych typów sieci neuronowych i ich dopasowania. Na podstawie uzyskanych danych statystycznych można stwierdzić, że wszystkie analizowane typy sieci neuronowych są

dobrze dopasowane do analizy procentowej zawartości zanieczyszczeń w masie nasion pszenicy. Wszystkie przypadki uzyskały wysoki współczynnik korelacji.

Tabela 2. Współczynniki korelacji dla poszczególnych typów wygenerowanych sieci neuronowych

Typ modelu	RBF	RBF*	MLP	MLP	Liniowy
Współczynnik korelacji	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Architektura modelu sieci neuronowej typu MLP

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 6 przedstawiono architekturę przykładowego modelu sieci neuronowej.

4. Wnioski

Przeprowadzone badania skłaniają do następujących wniosków i rekomendacji:

1. Wytworzone i sprawdzone logicznie i doświadczalnie modele neuronowe do oceny jakości pod względem zanieczyszczeń pszenicy potwierdziły, że celowe jest jego zastosowanie w oparciu o cechy barwy uzyskane na podstawie wytworzonego oprogramowania do analizy obrazu.

2. Zastosowanie komputerowej analizy obrazu pozwoliło na znaczne przyspieszenie oceny jakości badanego materiału względem metod tradycyjnych. Szczególne znaczenie metoda ta ma w odniesieniu do badania stanu okrywy owocowo-nasiennej pszenicy pochodzącej z elewatora. Metoda ta umożliwiła dokładne i szybkie oszacowanie zmian, a tym samym szybką interwencję i wykonanie zabiegu konserwującego, jakim był przesyp do drugiej komory.
3. Wygenerowane modele charakteryzowały się dobrymi parametrami i wysoką jakością, uzyskując wysoki współczynnik R^2 – na poziomie 0,999.
4. Aplikacja komputerowa „Leaf”, bazująca na modelu RGB, rozpoznaje barwy występujące w masie ziarna i na okrywie owocowo-nasiennej.
5. Aplikacja proponowanych rozwiązań pozwoli na usprawnienie zarządzania procesami w magazynie zbożowym.

Bibliografia

- Abdullah, M. Z., Guan, L. C., Lim, K. C., Karim, A. A. (2004). The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 125–135, [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00194-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00194-8)
- Alexandratos, N., Bruinsma, J. (2012). *World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision*. ESA Working Paper Rome, FAO.
- Banasiak, J., Detyna, J., Detyna, B. (2016). Chosen problems in agro logistics – a proposals to the use of selected indicators. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 6(9) (part III).
- Broda, M., Grajek, W. (2009). Mikroflora ziaren zbóż i metody redukcji skażenia mikrobiologicznego. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 61(2), 19–30.
- Chai, T. (2016). Industrial process control systems: Research status and development direction. *Scientia Sincia Informations*, 46(8), 1003–1015.
- Du, C. J., Sun, D. W. (2005). Correlating shrinkage with yield, water content and texture of pork ham by computer vision. *Journal of Food Process Engineering*, (28), 219–232.
- Godfray, H. C. J., Garnett, T. (2014). Food security and sustainable intensification. *Philosophical Transactions of The Royal Society/Biol. Sci.*, 369(1639), 2012–2073, <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0273>
- Gonzales-Barron, U., Butler, F. (2006). Statistical and spectral texture analysis methods for discrimination of bread crumb images. *IUFoST World Congress of Food Science and Technology*, 164–164, <https://doi.org/10.1051/IUFoST:20060164>
- Iqbal, A., Valous, N. A., Mendoza, F., Sun D. -W., Allen, P. (2010). Classification of pre-sliced pork and Turkey ham qualities based on image color and textural features and their relationships with consumer responses. *Meat Science*, (84), 455–465.
- Kręciđło, Ł., Krzyśko-Łupicka, T. (2015). Sensitivity of molds isolated from warehouses of food production facility on selected essential oils. *Inżynieria Ekologiczna*, (43), 100–108.
- Liu, Z., Cheng, F., Ying, Y., Rao, X. (2005). Identification of rice seed varieties using neural network. *Journal of Zhejiang University Science*, 6B(11), 1095–1100.
- Li, J., Liao, G., Ou, Z., Jin, J. (2007). Rapeseed seeds classification by machine vision. *Intelligent Information Technology Application, Conference 2007*, 222–226, <https://doi.org/10.1109/IITA.2007.56>
- Manickavasagab, A., Sathya, G., Jayas, D. S., White, N. D. G. (2008). Wheat class identification using monochrome images. *Journal of Cereak Science*, (47), 518–527.

- Mladenov, M., Dejanov, M. (2004). Analysis of the possibilities for separator color and texture features. *Proceedings of International Conference Bulgaria*, 17–18.
- Mohan, A. L., Jayas, D. S., White, N. D. G., Karunakaran, C. (2004). Classification of bulk oilseeds, specialty seeds and pulses using their reflectance characteristics. *International Quality Grains Conference Proceedings, Indiana USA*, 19–22.
- Qian, F., Zhong, W., Du, W. (2017). Fundamental theories and key technologies for smart and optimal manufacturing in the process industry. *Elsevier Engineering*, 3(2), 154–160, <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.02.011>
- Sánchez, A. J., Albarracín, W., Grau, R., Ricolfe, C., Barat, J. M. (2008). Control of ham salting by using image segmentation. *Food Control*, (19), 135–142.
- Szwedziak, K. (2019a). Artificial neural networks and computer image analysis of selected quality parameters of pea seeds. *E3S Web of Conference*, 132(01027), 1–7.
- Szwedziak, K. (2019b). The use of vision techniques for the evaluation of selected quality parameters of maize grain during storage. *E3S Web of Conference*, 132(01028), 1–8.

Managing the Quality of Grain Stored in Agricultural Plants – the Use of Artificial Neural Networks and Image Acquisition

Abstract

Object and purpose of the work: The grain and milling industry is one of the most important branches of the Polish economy. One of the key operations in the context of grain quality is warehouse management. In this context, a systematic approach to the processes taking place in agricultural plants is necessary. The aim of the chapter is to present the role and tasks of grain warehouses and the results of empirical research on technological processes in the “Opole – Port” elevator. The contamination status of wheat grain in the elevator was assessed.

Materials and methods: The research included an analysis of technological processes such as: weighing and sampling, quality assessment of the received grain, unloading and transport, drying, aspiration and separation of impurities, preservation, storage, and redistribution. The experiment concerned the state of contamination of wheat grain in the tested elevator, using computer image analysis and the “Leaf” computer application. The obtained results were compared with data obtained in the “Opole – Port” elevator laboratory using the microscopic method.

Results: The research results presented in the chapter concern an example elevator, and all described stages in technological processes refer to the need to ensure the best possible level of wheat grain quality during storage. As part of the conclusions, recommendations for practical application were developed.

Conclusions: The introduction of innovative solutions to quality management in grain storage facilities, such as the use of artificial neural networks and image acquisition, is the implementation of a modern management model. This model can be successfully used in grain storage management processes.

Keywords: warehouse management, quality management, artificial neural networks