

# **Przegląd metod diagnozowania stopnia porażenia ziarna zbóż przez owadzie szkodniki magazynowe**

**Mariusz Rosiński, Dorota Piasecka-Kwiatkowska, Jerzy R. Warchalewski**

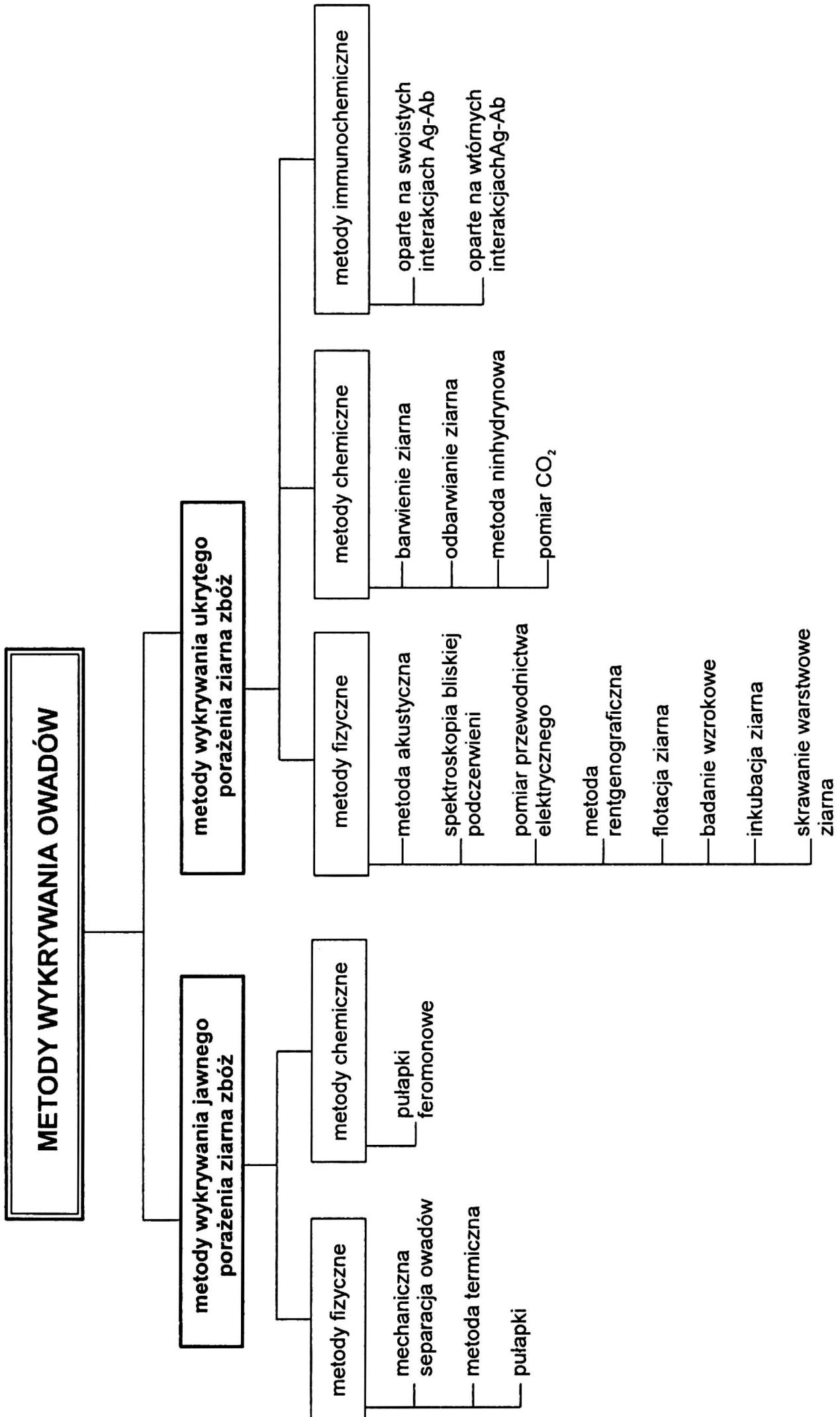
*Katedra Biochemii i Analizy Żywności,  
Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu  
ul. Mazowiecka 48, 60-623 Poznań  
e-mail: dorotapk@owl.au.poznan.pl*

**Słowa kluczowe:** ziarno zbóż, szkodniki owadzie, metody wykrywania skażenia

## **Wprowadzenie**

Szkodniki magazynowe należą głównie do gromady pajęczaków i owadów, w tym do rzędu chrząszczy, roztoczy i motyli [23]. Większość szkodników jest wielożerna, odżywiająca się różnorodnymi pokarmami pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Niektóre natomiast charakteryzują się wysoką specyficzną żerowania. Przykładem jest wołek zbożowy (*Sitophilus granarius* L.) i trojszyk ulec (*Tribolium confusum* DUV.) bytujące na ziarnie i jego przetworach, w których dominującym składnikiem jest skrobia [43]. Dla wielu szkodników, magazynowane ziarno, w sprzyjających warunkach, stanowi doskonałe środowisko do życia i rozwoju. Szacuje się, że straty masy ziarna w skali światowej powodowane przez szkodniki odpowiadają ilości żywności, która wystarczyłaby do wyżywienia 130 mln ludzi [22] i są największe w krajach rozwijających się, gdzie sięgają nawet 50% zbiorów [3]. Jeden z najmniejbezpiecznych szkodników owadzie w Polsce, wołek zbożowy, powoduje w naszym kraju straty rzędu 5% całej ilości magazynowanego ziarna [22].

Zanieczyszczenie owadami ziarna i jego przetworów, poza znacznymi stratami ekonomicznymi, jest przyczyną pogorszenia jakości technologicznej surowca oraz jego wartości żywieniowej [43]. Szkodniki zanieczyszczając produkty odchodami, skórkami gąsienic i poczwerek oraz martwymi osobnikami mogą wręcz stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka. Odnotowano zaburzenia układu oddechowego i pokarmowego po spożyciu artykułów zanieczyszczonych rozkruszkami [23] oraz reakcje alergiczne po spożyciu produktów zawierających pozostałości wołka zbożowego [8].



Rysunek 1. Podział metod wykrywania owadzych skodników magazynowych

Szczególnie niebezpieczne są owady powodujące tzw. ukryte porażenie ziarna, ze względu na ich cykl rozwojowy zachodzący w całości wewnątrz ziarna. Tak skażone ziarno jest znacznie trudniejsze do wykrycia, a powstałe szkody są dużo większe [31]. Owady powodujące ukryte porażenie ziarna to m.in. wołek zbożowy (*Sitophilus granarius* L), wołek ryżowy (*Sitophilus oryzae* L.) oraz wołek kukurydziany (*Sitophilus zeamais* M.), które są najpowszechniej występującymi szkodnikami pszenicy [31].

Głównym celem zarządzania magazynowanym ziarnem zbóż powinno być zachowanie jego jakości oraz ograniczenie strat masy ziarna, dlatego konieczne wydaje się poszukiwanie metod analitycznych pozwalających na wczesne wykrywanie nawet minimalnych, niepożądanych zmian w przechowywanym surowcu.

Ze względu na rodzaj porażenia metody wykrywania owadzich szkodników można podzielić na metody wykrywania jawnego i ukrytego porażenia. Natomiast ze względu na charakter oznaczenia, metody te można zakwalifikować do metod fizycznych, chemicznych oraz immunochemicznych. Podział metod wykrywania owadzich szkodników magazynowych przedstawiono na rysunku 1.

## Metody wykrywania jawnego porażenia ziarna

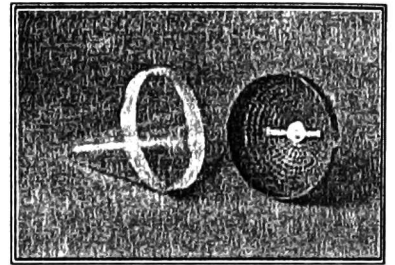
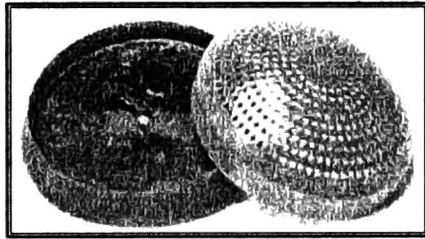
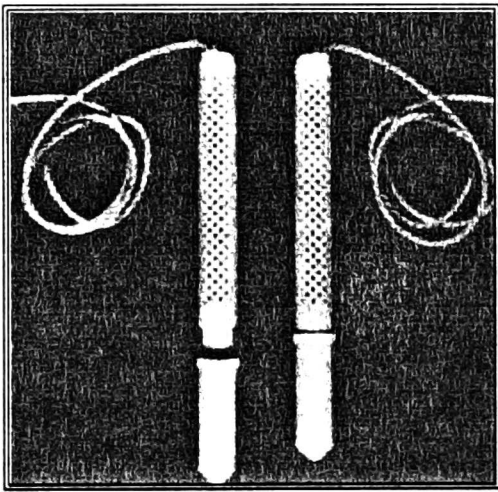
---

### Metody fizyczne

Stopień jawnego porażenia ziarna zbóż, czyli liczbę owadów znajdujących się w przestrzeniach między ziarnami określa się metodą separacji. Najczęściej wykonuje się to oddzielając owady w sposób mechaniczny przesiewając próbkę ziarna przez zestaw sit o malejącej średnicy oczek. Stosując sita o określonej średnicy oczek można frakcjonować owady zależnie od ich wielkości, co ułatwia ich późniejszą identyfikację. Przesiewanie, poza oddzieleniem dorosłych owadów, usuwa również zanieczyszczenia mechaniczne z próbki ziarna, którą można następnie przebadac pod kątem ukrytego porażenia [38]. Inna metoda stosowana powszechnie polega na ręcznym wybieraniu owadów przy użyciu pęsety [17].

Kolejną metodę detekcji jawnego porażenia ziarna stanowi metoda termiczna. Wykorzystuje ona połączone działanie światła i ciepła do wypłaszania owadów z badanej próby. Służą do tego celu takie urządzenia jak aparat Tulgrena [17], czy lejek Berlesa [45]. Pod wpływem ciepła i światła, których źródłem jest umieszczona nad próbką żarówka, owady uciekają, a następnie wpadają do podstawionego naczynia z wodą lub alkoholem. Metoda ta pozwala wykryć około 95% żywych szkodników po 4 godzinach naświetlania [17].

W wykrywaniu jawnego porażenia szczególne znaczenie mają różnego rodzaju pułapki umieszczane w magazynowanym ziarnie. Są to pojemniki różnego kształtu (najczęściej cylindryczne tuby) mające w górnej części określonej średnicy otwory, przez które wpadają owady. Na rysunku 2 przedstawiono przykłady pułapek do wykrywania owadów w magazynowanym ziarnie o różnych kształtach.

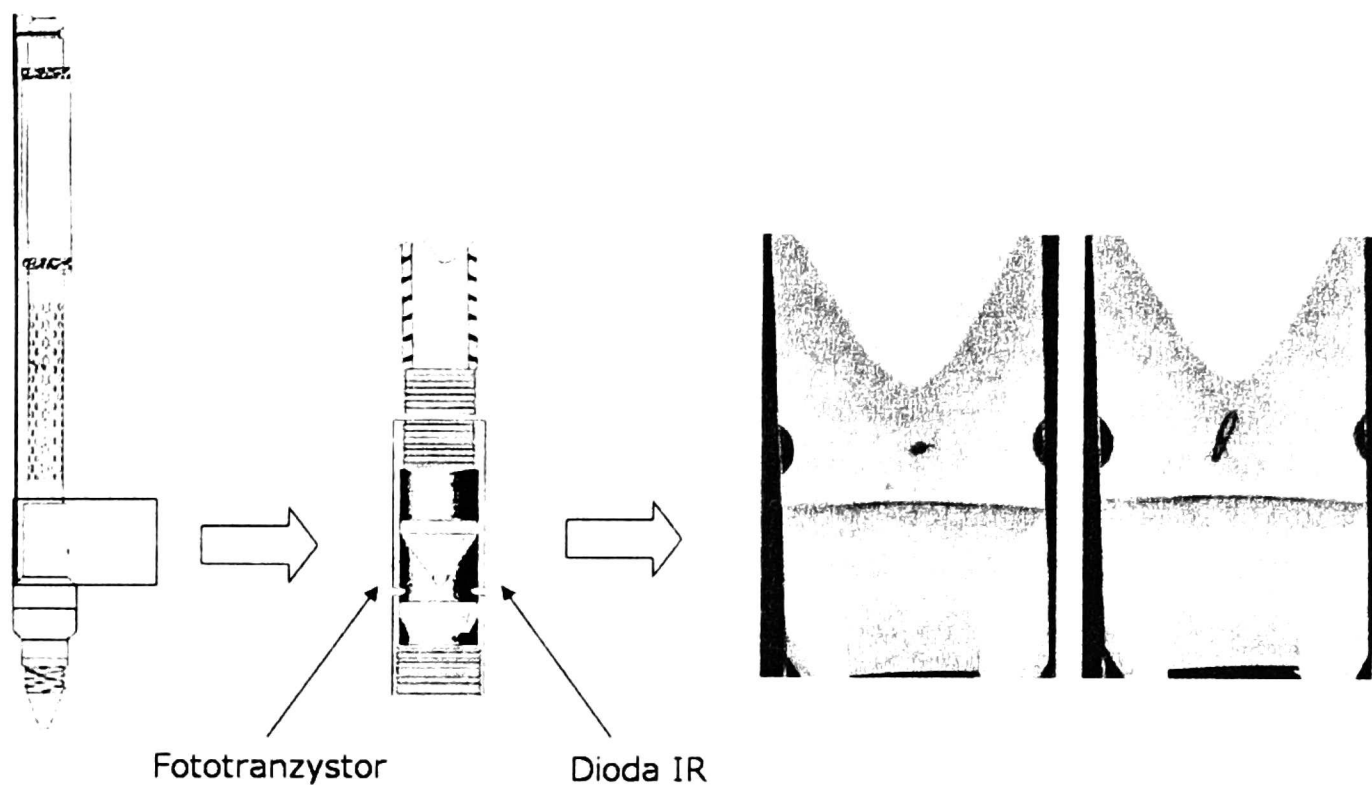


Rysunek 2. Przykłady pułapek do wykrywania owadów w magazynowanym ziarnie

Użyteczność stosowania pułapek wynika z możliwości wykorzystania ich w celu monitoringu populacji owadów [4, 6, 8, 10, 12, 19, 29, 33, 39, 41, 42], jak również ich usuwania [8, 43]. Metody wykorzystujące pułapki są efektywne w wykrywaniu niskich poziomów jawnego porażenia [19, 35, 39, 40, 41]. Aczkolwiek wykrywają one tylko niewielki procent owadów obecnych w mocno porażonym ziarnie. Poszukując przyczyn takiego stanu, obserwowano zachowanie dorosłych owadów wołka zbożowego (*Sitophilus granarius* L.) w pobliżu pułapek. Stwierdzono, że w porównaniu z rzeczywistą liczbą owadów liczba osobników, które wpadły do wnętrza pułapki była znacznie niższa i dotyczyła głównie tych znajdujących się pierwszy lub drugi raz w pobliżu pułapki. Ponadto zaobserwowano, że długość ciała owada była większa niż średnica otworów w pułapce, dlatego owady poruszające się wzdłuż pułapki nie ryzykowały wpadnięcia do jej wnętrza. Nie zaobserwowano natomiast wpływu głębokości, na jakiej umieszczono pułapkę na efektywność łapania owadów, ponieważ większość z nich wpadała do środka przez rząd otworów znajdujących się na wysokości powierzchni ziarna [41]. Na zdolność wyłapywania owadów przez pułapki wpływa wiele czynników, takich jak: gatunek owada, czas stosowania pułapki, temperatura ziarna, typ ziarna oraz rozmieszczenie pułapek [7, 40]. Zaobserwowano, że zdolność wyłapywania owadów wzrasta wraz ze wzrostem temperatury [1, 18, 19, 35, 42].

W celu policzenia owadów pułapki muszą być okresowo wyjmowane [12]. Dostępne są także urządzenia do automatycznego liczenia owadów wpadających do pułapki, co umożliwia stały monitoring ziarna, bez konieczności okresowego ich opróżniania. Na rysunku 3 przedstawiono schemat pułapki z elektronicznym licznikiem owadów. Istotnym rozwiązaniem jest zastosowanie diod emitujących promienie podczerwone oraz fototranzystorów. Owad wpadający do pułapki przerywa częściowo wiązkę promieniowania podczerwonego, a fototranzystor wytwarza sygnał proporcjonalny do spadku natężenia promieniowania [12, 39]. Możliwe jest także zastosowanie sensorów wewnątrz pułapki, które umożliwiają ich identyfikację. Wówczas uzyskiwany za pośrednictwem kamery z wnętrza pułapki obraz jest przetwarzany w komputerze, gdzie na podstawie takich parametrów jak kolor, kształt i rozmiar możliwa jest identyfikacja owada [11, 39].





Rysunek 3. Schemat pułapki z elektronicznym licznikiem owadów

## Metody chemiczne

Celem zwiększenia efektywności wylapywania owadów poszukuje się nowych rozwiązań. Jednym z nich jest wykorzystanie feromonów, czyli substancji chemicznych wabiących przedstawicieli tego samego gatunku. Można wyróżnić dwa rodzaje feromonów: płci i agregacyjne. Pierwszy rodzaj zwykle produkowany jest przez samice gatunków krótko żyjących, które zwabiają samców w celach rozrodczych. Drugi rodzaj jest wytwarzany przez samców gatunków długo żyjących, które przywabiają osobniki obydwu płci do źródła pożywienia [8, 10, 33, 43]. Prowadzone są badania nad wykorzystaniem w jednej pułapce feromonów produkowanych przez wiele gatunków owadów oraz dotyczące ewentualnych interakcji między nimi. Obecność feromonów innych gatunków może wpływać na zdolność wabienia w trojaki sposób [10]: mogą nie wpływać na wabienie jednego z kilku gatunków owadów względnie spowodować nasilenie zdolności wabiących lub obniżyć wabienie danego gatunku owada.

## Metody wykrywania ukrytego porażenia ziarna

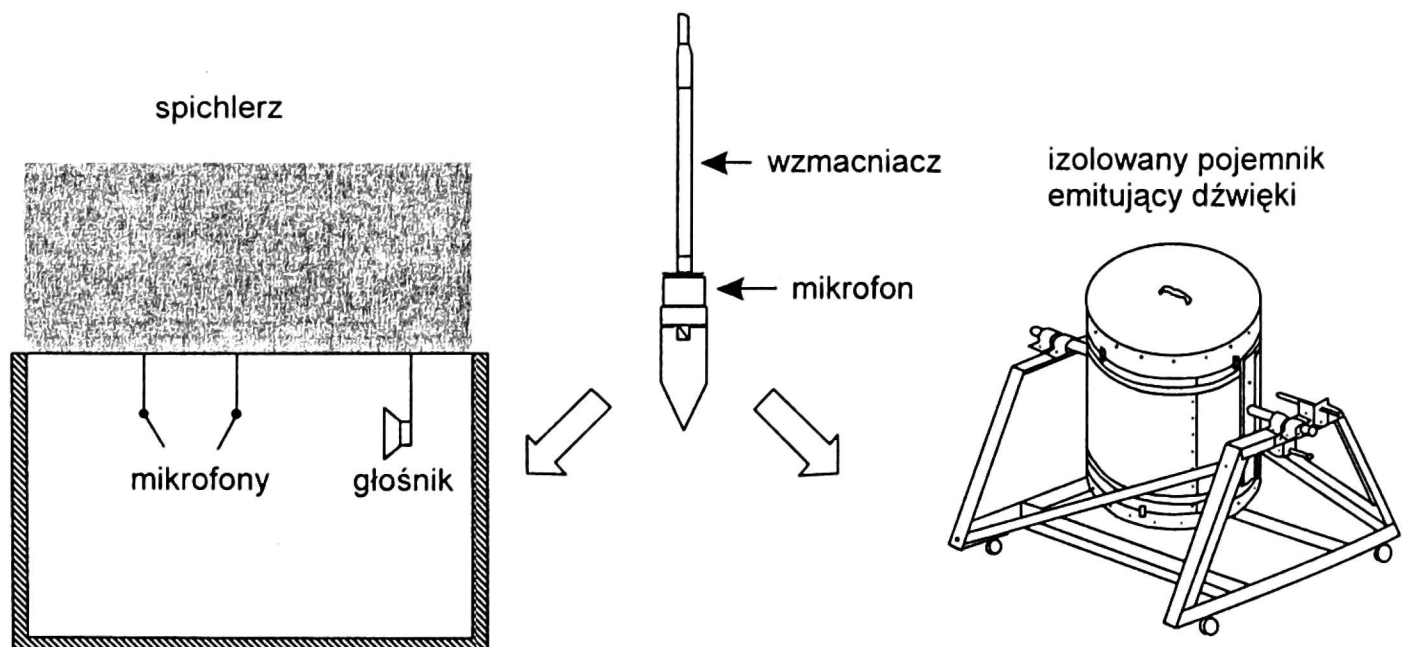
Najpoważniejsze straty ziarna powodują owady wywołujące ukryte porażenie. Należą do nich: wołek zbożowy, ryżowy i kukurydzowy oraz strąkowce. Samice chrząszczy składają jaja w kanalikach wydrążonych w ziarnie, zasklepiając otwór wydzieliną zmieszaną ze skrobią. Porażone ziarno wyglądem nie różni się od zdrowego, do momentu wylęgu dojrzałych owadów. Larwy żerują i rozwijają się niezauważone. Wykrycie porażenia na tym etapie jest bardzo trudne i obejmuje szereg różnych metod analitycznych takich jak: metody fizyczne, chemiczne i immunochemiczne.

## Metody fizyczne

Metody fizyczne stanowią grupę metod umożliwiających określenie stopnia porażenia ziarna zbóż na podstawie obserwacji właściwości fizycznych ziarna i ich zmian powodowanych przez owady.

Jedną z metod umożliwiających wykrycie wczesnych oznak porażenia ziarna szkodnikami owadzimi jest metoda akustyczna (rys. 4). Polega ona na pomiarach fal akustycznych emitowanych przez owady w czasie żerowania i poruszania się w magazynowanym ziarnie [9, 17]. Owady wyposażone w silny aparat szczękowy wgrzając się w bielmo ziarniaków wprowadzają je w drgania. Umieszczona w zbożu specjalistyczna sonda-mikrofon rejestruje drgania i przetwarza je na dźwięki słyszalne. Owady wykrywane są na podstawie identyfikacji dźwięków o niskiej częstotliwości (w przedziale 0,5–150 kHz) [34]. Badania z wykorzystaniem różnych gazów wykazały, że ziarno jest materiałem silnie absorbującym fale akustyczne, a dźwięk jest przenoszony głównie w ośrodku gazowym wypełniającym przestrzeń między ziarnami [20, 21]. Jednym z istotnych czynników ograniczającym czułość metody jest występowanie dźwięków tła [20, 21, 34]. Silna absorpcja dźwięku przez ziarno redukuje dźwięki tła i skraca odległość, przy której można wykryć owady. Dlatego stosuje się elementy wzmacniające dźwięk (mikrofony piezoelektryczne, dyski piezoelektryczne) [34] lub specjalne, izolowane pojemniki eliminujące dźwięki tła (rys. 4) [27]. Ponieważ sensory wykrywają owady w odległości maksymalnie 15 cm, a w przypadku ograniczenia dźwięków tła w odległości 0,5 m [20], konieczne jest rozmieszczenie wielu sensorów w całej powierzchni magazynowanego ziarna.

Metodą fizyczną charakteryzującą się wysokim stopniem wykrywalności, przekraczającym nawet 99% jest metoda spektroskopii bliskiej podczerwieni [11]. Może ona być stosowana nie tylko do określenia stopnia porażenia ziarna zbóż, lecz także do identyfikacji owadów w ziarnie zbóż [2, 11, 26, 28, 30] oraz fragmentów owadów

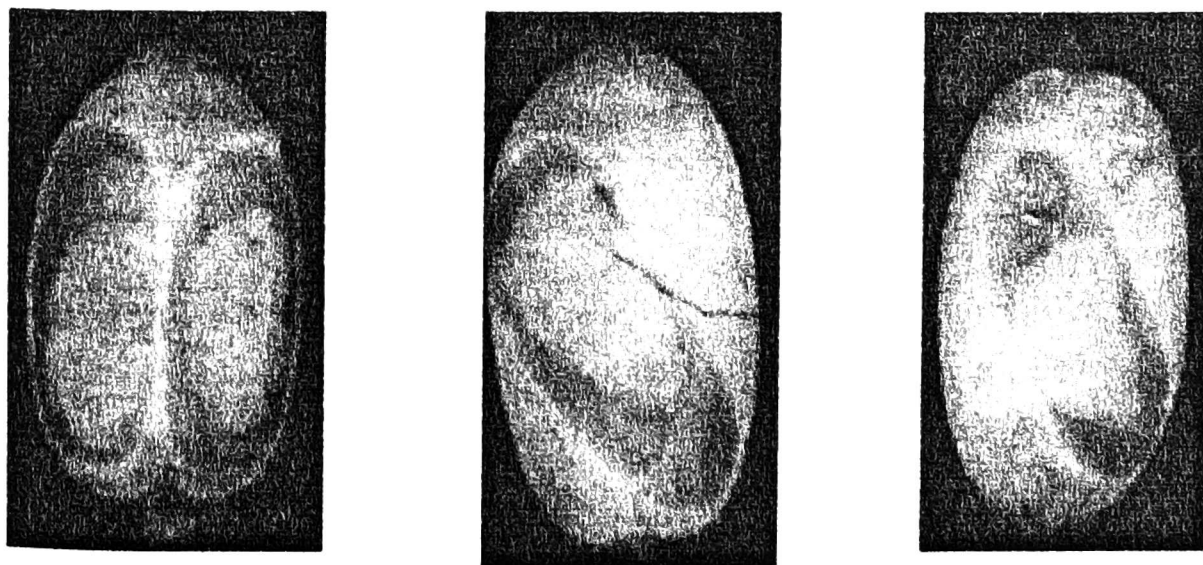


Rysunek 4. Dwa sposoby wykrywania owadów metodą akustyczną

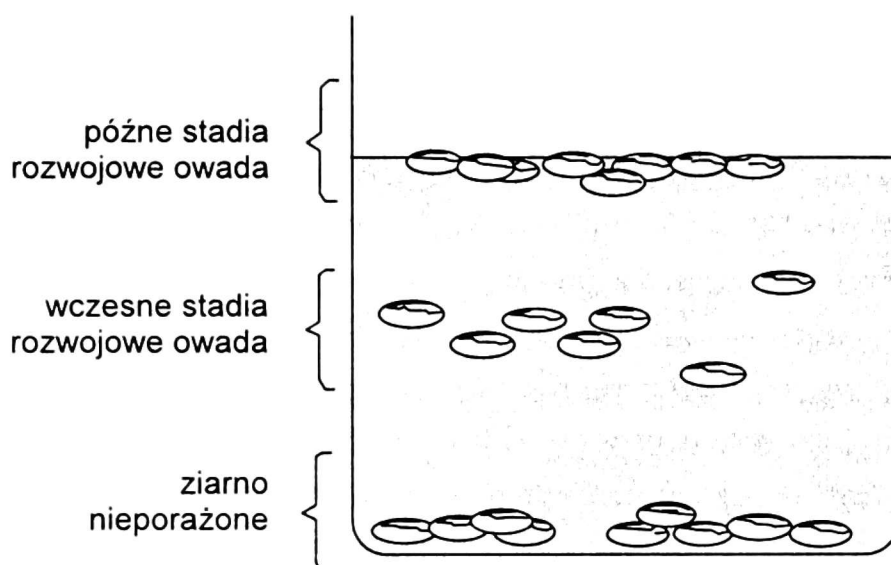
w mące [32]. W metodzie tej wykorzystuje się fakt, że każdy gatunek owada ma unikalny skład chemiczny. Podstawą klasyfikacji owadów są różnice w absorbancji promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni przez lipidy kutikularne. Za najbardziej odpowiednie do wykrywania i identyfikacji gatunku owadów w ziarnie zbóż uznano fale długości 700–1700 nm [32]. Unikalny skład chemiczny powoduje, że cząsteczki drgają z odmienną, charakterystyczną dla siebie częstotliwością, co pozwala na identyfikację gatunkową owadów [11].

Innym sposobem określenia stopnia porażenia ziarna zbóż, zaliczanym do metod fizycznych jest pomiar przewodnictwa elektrycznego opracowany przez Pearsona i Brabeca [31]. Zasada tego oznaczenia opiera się na określeniu wilgotności badanego ziarna na podstawie pomiaru przewodnictwa elektrycznego. Ponieważ owady mają większą wilgotność niż zwykle ziarno pszenicy, dlatego ich obecność w ziarnie można stwierdzić podczas pomiaru wilgotności. Najwyższy stopień detekcji uzyskuje się dla dużych larw i poczwerek, odpowiednio 87,5% i 88,6%.

Do wykrywania owadów żerujących w ziarnie zbóż wykorzystuje się również promienie Roentgena [17]. Zastosowanie analizy rentgenowskiej z procedurą użycia filmu, umożliwia wykrycie blisko 100% dorosłych larw i poczwerek. Przykładowe rentgenogramy ziarniaków porażonych larwami wołka zbożowego przedstawiono na rysunku 5. Skuteczność analizy rentgenograficznej zależy od doboru odpowiednich parametrów urządzenia, takich jak: dystans roboczy, kąt nachylenia preparatów, czas naświetlania. Po wykonaniu zdjęć i dalszej analizie uzyskanych rentgenogramów możliwym jest wczesne określenie stadiów rozwojowych owada oraz wykrycie złożonych jaj i pozostających po żerowaniu otworów pokarmowych [14, 15, 24]. Ma to szczególne znaczenie dla kontroli fitosanitarnej, a zwłaszcza ustalenia ewentualnego terminu porażenia ziarna szkodnikiem [13]. Poza tym, żywe larwy mogą być



**Rysunek 5.** Przykładowe rentgenogramy ziarniaków porażonych larwami wołka zbożowego (*Sitophilus granarius* L.) wykonano w ramach grantu KBN3 PO6T 072 22 „Rentgenograficzna metoda wczesnego diagnozowania stopnia porażenia ziarna zbóż wołkiem zbożowym” realizowanego w latach 2002/2003 [13, 14, 15]



**Rysunek 6.** Określanie stopnia porażenia ziarna zbóż metodą flotacji

odróżnione od martwych na podstawie rozmycia powstałego na zdjęciu wskutek poruszania się ich podczas naświetlania filmu [38]. Jednakże metoda rentgenowska nie może być stosowana do badania mąki, ze względu na zniszczoną podczas mielenia strukturę ziarna [3].

Żerowanie larw wewnątrz ziarniaków zbóż powoduje zmniejszenie gęstości zasiedlanych ziaren. Zjawisko to zostało wykorzystane do określania stopnia ukrytego porażenia ziarna metodą flotacji, czyli podczas zanurzenia próby ziarna w cieczy o odpowiedniej gęstości. Jako płyn flotacyjny stosuje się wodę lub roztwory o różnych stężeniach, które mają ciężar właściwy pośredni między ciężarem ziarna a ciężarem owadów lub nasion mogących zawierać owady. Przy ciężarze właściwym roztworu pomiędzy  $1,050 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  a  $1,190 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  porażone ziarno pływa na powierzchni, natomiast zdrowe powinno opaść na dno [17, 38] (rys. 6.). Metoda ta umożliwia wykrycie od 50% do 70% porażonego ziarna. Wykaz płynów flotacyjnych stosowanych w różnych metodach przedstawiono w tab. 1.

**Tabela 1.** Wykaz płynów flotacyjnych stosowanych w różnych metodach flotacji

Nazwa metody	Płyn flotacyjny
Metoda flotacji w wodzie	woda
Metoda flotacji śrutowanego ziarna	60% roztwór alkoholu z dodatkiem benzyny
Metoda Schmorla	mieszanina czterochlorku węgla i benzydyny
Metoda Apta	2% roztwór azotanu żelazawego

Jedną z najprostszych metod wykrywania ukrytego porażenia jest badanie wzrokowe lub z użyciem szkła powiększającego do stwierdzenia uszkodzeń mogących świadczyć o ukrytym porażeniu. Wadą jest to, iż metoda ta wymaga wysoce wyspecjalizowanego personelu zdolnego do prawidłowego zinterpretowania zmian występujących na powierzchni ziarna, tzw. ocena ekspercka [38].



Kolejna metoda polega na inkubacji badanej próby przez czas umożliwiający wszystkim owadom występującym w analizowanym ziarnie w różnych stadiach rozwoju przejść pełen cykl rozwojowy. Czynnikiem obniżającym wartość tej metody jest długość trwania analizy, wynosząca nawet do 6 tygodni [38]. Zaletą natomiast jest precyzja oznaczenia. Umożliwia ona wykrycie 16% porażenia ziarna pszenicy po 3–6-tygodniowej inkubacji, podczas gdy po badaniu wzrokowym wykryto tylko 4% porażonego ziarna [26].

Użyteczną, lecz pracochłonną metodą wykrywania stadiów rozwojowych owadów odpowiedzialnych za ukryte porażenie ziarna jest skrawanie warstwowe ziarna. W tej metodzie w celu zmiękczenia ziarno moczy się, a następnie kroi się warstwowo skalpelem i bada pod mikroskopem na obecność niedojrzałych form owadów występujących wewnątrz ziarna [38].

## Metody chemiczne

Metody chemiczne, opracowane w większości w latach 50 i 60 XX wieku, oparte są na reakcjach chemicznych wykrywających uszkodzenia ziarna spowodowane przez owady oraz na reakcjach ze składnikami charakterystycznymi dla samych owadów.

Metody wykrywania uszkodzeń ziarna wykorzystują różnice w gęstości wydzieliny owadów używanej do zamykania otworów po złożeniu jaj oraz twardości ziarna. Jedną z metod wykorzystującą ten fakt polega na barwieniu galaretowatych korków po uprzednim namoczeniu ziarna. Pod wpływem moczenia korki pęcznieją i zabarwiają się intensywniej niż ziarno [17, 38]. Do barwienia stosuje się różne barwniki: 1-procentowy roztwór  $\text{KMnO}_4$  (metoda Brudnej), kwaśną fuksynę (metoda Frankenfelda-Harrisa), fiolet chromowy (metoda Pulmana) [17]. Modyfikację tej metody stanowi opracowana przez Milnera metoda z zastosowaniem rozpuszczalnego barwnika fluorescencyjnego (siarczanu berberyny) do barwienia korków zrobionych przez *Sitophilus* sp. Ziarno jest badane za pomocą światła UV na obecność zielono-żółtych korków [38].

Kolejna metoda polega na działaniu zasadami (roztwór  $\text{NaOH}$  lub  $\text{KOH}$ ) na ziarno. Miejsca uszkodzone stają się przezroczyste, tak iż możliwe staje się dostrzeżenie owada [17, 38].

Najczęściej stosowaną metodą chemiczną jest metoda ninhydrynowa. Metoda ta opiera się na reakcji wolnych aminokwasów występujących w płynach ustrojowych ciał owadów z ninhydryną, którą nasycano bibułę filtracyjną. Tak przygotowaną bibułę nawija się na walce używane do zgniatania badanego ziarna. Na skutek reakcji powstają purpurowe plamki, których liczba określa stopień porażenia ziarna [17, 38].

Możliwa jest również analiza spektrofotometryczna fenoloindofenolu, który powstaje z hydroksyfenolu charakterystycznego dla naskórka owada po działaniu na niego chloramidem 2,6-dichlorochinonu [38].

Identyfikacja owadów oraz ich fragmentów obecnych w produktach zbożowych jest możliwa również dzięki użyciu fioletu krystalicznego, który barwi je na czerwono. Zabarwione owady wykrywa się przy użyciu światła UV [38].

Kolejnym sposobem wczesnego wykrycia porażenia ziarna zbóż szkodnikami owadzimi jest pomiar ilości CO<sub>2</sub> w atmosferze otaczającej ziarno. Zdrowe ziarno w określonych warunkach klimatycznych oddycha, wydalając określoną ilość CO<sub>2</sub> do atmosfery. Obecność szkodników jest natomiast źródłem dodatkowych ilości wydalanego CO<sub>2</sub> [23]. Metoda ta pozwala określić poziom przemian metabolicznych ziarna oraz stopień porażenia przez owady czy inne organizmy, nie pozwala na identyfikację gatunku owada, który zaatakował ziarno. Oznaczenie polega na analizie składu powietrza pobranego z przestrzeni między ziarnami próbki zamkniętej w szczelnym pojemniku na 24 h. Suche, nieporażone ziarno charakteryzuje ilość wydalanego CO<sub>2</sub> na poziomie 0,25%. Większa zawartość CO<sub>2</sub> w próbie w granicach 0,5–0,9% w porównaniu do otaczającego powietrza świadczy o obecności szkodników, natomiast 1% i więcej oznacza duże porażenie [17, 38, 45]. Znacznie większą dokładność oraz wyższy stopień detekcji CO<sub>2</sub> można osiągnąć stosując spektroskopię podczerwieni. Badanie to polega na usunięciu powietrza z komory urządzenia po wprowadzeniu badanej próby i odpowiedniego gazu. Komorę zamyka się do momentu, gdy ilość CO<sub>2</sub> wydychanego przez owady osiągnie poziom niezbędny do wykrycia. Metoda tą można wykryć CO<sub>2</sub> w ilości 300 ppm powyżej poziomu CO<sub>2</sub> w atmosferze [38].

## Metody immunochemiczne

Metody immunochemiczne mają zastosowanie w analizie wielu produktów spożywczych [16]. Wykorzystuje się metody oparte zarówno na swoistych interakcjach antygen – przeciwciało (Ag – Ab), w których powstaje stabilny, rozpuszczalny kompleks oraz metody oparte na wtórnych interakcjach Ag – Ab, w których reagenty tworzą widoczne precypitaty lub aglutynaty [44].

Skuteczność technik immunochemicznych do stwierdzania porażenia ziarna przez szkodniki owadzie potwierdza wielu badaczy [5, 25, 37]. Rotundo i in. [37] potwierdzili możliwość wykorzystania technik opartych na precypitacji w żelu agarowym kompleksu antygen – przeciwciało. Zastosowana przez nich technika immunosmoforezy okazała się szczególnie przydatna w celu stwierdzania ukrytego porażenia ziarna przez wołka zbożowego. Metoda ta umożliwiła wykrycie już pojedynczej larwy i poczwarki w próbie 10 g ziarna.

Ponadto opracowane zostały procedury do metody ELISA wykorzystującej przeciwciała monoklonalne skierowane przeciwko owadziemu białku zwanemu białkiem W [5], a także białku owadzych mięśni – miozynie, która okazała się czynnikiem różnicującym owady różnych gatunków. Metoda ta, w wielu wariantach, stosowana jest do wykrywania szkodników owadzych w magazynowanym ziarnie, w jego przetworach,

a także w przyprawach. Charakteryzuje się ona dużą czułością, umożliwia wykrycie jednego chrząszcza wołka zbożowego w próbie 50 g ziarna [25].

Wstępne badania, w których zastosowano metodę ELISA z wykorzystaniem przeciwciał otrzymanych wobec  $\alpha$ -amylazy – enzymu trawiennego wołka zbożowego, wykazały również możliwość stosowania tej metody do wczesnego wykrywania skażenia ziarna zbóż tym owadem [36].

---

## Podsumowanie

Jak wynika z przedstawionych powyżej danych literaturowych dostępnych jest wiele metod wykrywania owadów szkodników w magazynowanym ziarnie. Jednakże każda z nich ma pewne ograniczenia w stosowaniu. Dlatego ciągle poszukuje się skutecznych, lepszych, szybkich, precyzyjnych i prostych rozwiązań. Ma to szczególne znaczenie w wypadku wczesnego wykrywania ukrytego porażenia. Odpowiednio wczesne wykrycie i zidentyfikowanie gatunku owadów w porażonym ziarnie pozwala podjąć odpowiednie kroki zapobiegające rozprzestrzenianiu się owadów szkodników w magazynach. W efekcie wymierną korzyścią takiego postępowania jest surowiec dla przetwórstwa spełniający wymogi zdrowotności oraz posiadający cechy pełnej przydatności technologicznej.

---

## Literatura

- [1] Arbogast R.T., Weaver D.K., Kendra P.E., Chini S.R. 2004. Temperature variation in stored maize and its effect on capture of beetles in grain probe traps. *J. Stored Prod. Res.* 40: 135–150.
- [2] Baker J.E., Dowell F.E., Throne J.E. 1999. Detection of parasitized rice weevils in wheat kernels with near-infrared spectroscopy. *Biological Control* 16: 88–90.
- [3] Brader A., Lee R.C., Plarre R., Burkholder W., Kitto G.B., Kao Ch., Polston L., Dorneanu E., Szabo I., Mead B., Rouse B., Sulling D., Denning R. 2002. A comparison of screening methods for insect contamination in wheat. *J. Stored Prod. Res.* 38: 75–86.
- [4] Buchelos C.Th., Athanassiou C.G. 1999. Unbaited probe traps and grain trier: a comparison of the two methods for sampling Coleoptera in stored barley. *J. Stored Prod. Res.* 35: 397–404.
- [5] Chen W., Kitto G.B. 1993. Species-specific immunoassay for *Sitophilus granarius* in wheat. *Food & Agricultural Immunology* 5: 165–174.
- [6] Collins L.E., Chambers J. 2003. The I-Spy insect indicator: an effective trap for the detection of insect pests in empty stores and on flat surfaces in the cereals and food trades. *J. Stored Prod. Res.* 39: 277–292.



- [7] Collins L.E., Wakefield M.E., Chambers J., Cox P.D. 2004. Progress towards a multi-species lure: comparison of behavioural bioassay methods for multi-species attractants against three pests of stored grain. *J. Stored Prod. Res.* 40: 341–353.
- [8] Cox P.D. 2004. Potential for using semichemicals to protect stored products from insect infestation. *J. Stored Prod. Res.* 40: 1–25.
- [9] Devereau A.D., Gudrups I., Appleby J.H., Credland P.F. 2003. Automatic, rapid screening of seed resistance in cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) WALPERS, to the seed beetle *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) using acoustic monitoring. *J. Stored Prod. Res.* 39: 117–129.
- [10] Dowdy A.K., Mullen M.A. 1998. Multiple stored-product insect pheromone use in pitfall traps. *J. Stored Prod. Res.* 34(1): 75–80.
- [11] Dowell F.E., Throne J.E. Wang D., Baker J.E. 1999. Identifying stored-grain insects using near-infrared spectroscopy. *J. Econ. Entomol.* 92 (1): 195–169.
- [12] Epsky D.N., Shuman D. 2001. Laboratory evaluation of an improved electronic grain probe insect counter. *J. Stored Prod. Res.* 37: 187–197.
- [13] Fornal J., Grundas S., Polańska A., Nawrot J., Warchalewski J.R., Jeliński T. 2003. Rentgenograficzna metoda określania porażenia ziarna zbóż wołkiem zbożowym. Konferencja naukowa pt. „Właściwości geometryczne, mechaniczne i strukturalne surowców i produktów spożywczych” – referaty i doniesienia, Olsztyn, 12–13.06.2003: 34–35.
- [14] Fornal J., Grundas S., Nawrot J., Polańska A., Warchalewski J.R., Jeliński T. 2003. X-ray method for early detection of wheat grain infestation by *Sitophilus granarius* L. First International Conference on „Advanced analysis – exploring biological systems in food”. Olsztyn, September 3–7, 2003: 60.
- [15] Fornal J., Jeliński T., Sadowska J., Grundas S., Nawrot J., Polańska A., Warchalewski J.R. 2003. X-ray method combined with Digital Image Analysis for insect detection in cereals. 2nd International Workshop „Applied physics in life science” – Book of abstracts, Prague, Czech Republic, 25th September, 2003: 10.
- [16] Gazzaz S.S., Rasco B.A., Dong F.M. 1992. Application of immunochemical assay to food analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 32(3): 197–229.
- [17] Gołębiowska Z., Nawrot J. 1976. Szkodniki magazynowe. PWRiL, Warszawa: 219–226.
- [18] Hagstrum D.W. 2000. Using five sampling methods to measure insect distribution and abundance in bins storing wheat. *J. Stored Prod. Res.* 36: 253–262
- [19] Hagstrum D.W., Flinn P.W., Subramanyam Bh. 1998. Predicting insect density from probe trap catch in farm-stored wheat. *J. Stored Prod. Res.* 34(4): 251–262.
- [20] Hickling R., Wei W., Hagstrum W. 1997. Studies of sound transmission in various types of stored grain for acoustic detection of insects. *Applied Acoustic* 50(4): 263–278.
- [21] Hickling R., Wei W. 1995. Sound transmission in stored grain. *Applied Acoustic* 45: 1–8.
- [22] Ignatowicz S. 1997. Zwalczenie szkodników w pustych magazynach. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 41(7): 4–6.
- [23] Jakubczyk T., Haber T. 1983. Analiza zbóż i przetworów zbożowych. Wydawnictwo SGGW-AR w Warszawie: 184–192.
- [24] Karunakaran C., Jayas D.S., White N.D.G. 2004. Identification of Wheat Kernels damaged by the Red Flour Beetle using X-ray Images. *Biosystems Engineering* 87(3): 1–8.



- [25] Kitto G.B., Quinn F.A., Burkholder W.E. 1994. Development of immunoassay for quantitative detection of insects in stored products. Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-Product Protecting – Volume I: 415–420.
- [26] Maghirang E.B., Dowell F.E., Baker J.E., Throne J.E. 2002. Detecting single wheat kernels containing live or dead insects using near-infrared reflectance spectroscopy. ASAE Meeting Paper No.023067. St. Joseph, Mich.: ASAE
- [27] Mankin R.W., Sun J.S., Shuman D., Weaver D.K. 1997. Shielding against noise interfering with quantitation of insect infestations by acoustic detection systems in grain elevators. *Applied Acoustics* 50(4): 309–323.
- [28] Paliwal J., Borhan M.S., Symons S.J. 2003. Near-infrared spectroscopy to detect *Rhyzopertha dominica* in wheat. ASAE Meeting Paper No.030009. St. Joseph, Mich.: ASAE
- [29] Papadopoulou S.Ch., Buchelos C.Th. 2002. Comparison of trapping efficacy for *Lasioderma serricorne* (F.) adults with electric, pheromone, food attractant and control-adhesive traps. *J. Stored Prod. Res.* 38: 375–383.
- [30] Pasikatan M.C., Dowell F.E. 2001. Sorting systems based on optical methods for detecting and removing seeds infested internally by insects or fungi: a review. *Applied spectroscopy reviews* 36(4): 399–416.
- [31] Pearson T.C., Brabec D.L. 2002. Automated detection of hidden internal insect infestation in wheat kernels using electrical conductance. ASAE Meeting Paper No.023073. St. Joseph, Mich.: ASAE
- [32] Perez-Mendoza J., Throne J.E., Dowell F.E., Baker J.E. 2003. Detection of insect fragments in wheat flour by near-infrared spectroscopy. *J. Stored Prod. Res.* 39: 305–312.
- [33] Phillips T.W. 1997. Semichecks of stored-product insects: research and applications. *J. Stored Prod. Res.* 33(1): 17–30.
- [34] Reynolds D.R., Riley J.R. 2002. Remote-sensing, telemetric and computer-based technologies for investigating insect movement: a survey of existing and potential techniques. *Computers and Electronics in Agriculture* 35: 271–307.
- [35] Roesli R., Subramanyam B., Fairchild F.J., Behnke K.C. 2003. Trap catches of stored-product insects before and after heat treatment in a pilot feed mill. *J. Stored Prod. Res.* 39: 521–540.
- [36] Rosiński M. 2003. Poszukiwanie szybkich metod wykrywania skażenia ziarna zbóż wołkiem zbożowym. Praca magisterska, WTŻ, Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu.
- [37] Rotundo G., Germinara G.S., De Cristofaro A. 2000. Immunoosmophoretic technique for *Sitophilus granarius* (L.) infestation in wheat. *J. Stored Prod. Res.* 36: 153–160.
- [38] Semple R.L. 1992. Inspection and detection methods for storage insect pests. W: Towards integrated commodity and pest management in grain storage. Section 6. Dostępne na stronie: <http://www.fao.org/inpho/vlibrary/x0048e/X0048E00.htm>
- [39] Toews D.T., Phillips T.W., Shuman D. 2003. Electronic and manual monitoring of *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Laemophloeidae) in stored wheat. *J. Stored Prod. Res.* 39: 541–554.
- [40] Vela-Coiffier E.L., Fargo W.S., Bonjour E.L., Cuperus G.W., Warde W.D. 1997. Immigration of insects into on-farm stored wheat and relationships among trapping methods. *J. Stored. Prod. Res.* 33(2): 157–166.

- [41] Wakefield M.E. 1995. A study of the behaviour of the grain weevil *Sitophilus granarius* (L.) at the pitfall cone trap using a method to identify individuals. *J. Stored Prod. Res.* 31(4): 273–277.
- [42] Wakefield M.E., Cogan P.M. 1999. The use of a managed bulk of grain for the evaluation of PC, Pitfall beaker, Insect Probe and WB II Probe traps for monitoring *Sitophilus granarius* during the winter and summer in the UK. *J. Stored Prod. Res.* 35: 375–383
- [43] Warchalewski J.R., Gralik J., Nawrot J. 2000. Możliwości zmniejszania powodowanych przez szkodniki owadzie strat magazynowanego ziarna zbóż. *Post. Nauk Rol.* 6: 85–96.
- [44] Warchalewski J.R., Kałużewska M., Piasecka-Kwiatkowska D., Daussant J., Bielecki S., Wyatt G.M., Gruchała L. 2003. Metody immunoanaliz i ich zastosowanie w przemyśle spożywczym. W: *Metody pomiarów i kontroli jakości w przemyśle spożywczym i biotechnologii*, pod redakcją M. Jankiewicz i Z. Kędziora. Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu: 17–154.
- [45] White N.D.G. 2001. Protection of farm-stored grains, oilseeds and pulses from insects, mites and moulds. Cereal Research Centre. Dostępne na stronie: <http://www.agr.gc.ca/science/winnipeg>.

## Diagnosis methods of cereal grain infestation degree caused by stored grain insect pests – a review

---

**Key words:** cereal grain, insect pests, methods of detection insect infestation

### Summary

Among the factors influencing the quality of stored grain is presence of pests in grain mass, particularly the insects. It was estimated that about 10% stored grain in many parts of the world is being destroyed every year by the insects. Internal infestation caused by primary insects, such as granary weevil (*Sitophilus granaries* L.) is considered as making more damage and being more difficult to detect. Early as possible detection of insects is important to minimize grain losses. For this reason a number of detection methods have been developed and investigated, including physical, chemical and immunochemical methods. In this paper methods used to detect hidden internal and external infestation of stored cereal grain by the insects were reviewed.