

## ZASTOSOWANIE METODY RENTGENOGRAFICZNEJ W BADANIACH MATERIAŁÓW ROŚLINNYCH\*

S. Grundas<sup>1</sup>, M. Geodecki<sup>1</sup>, L. Velikanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

<sup>2</sup>Instytut Agrofizyki RANR, Graždanskij Prospekt 14, Sankt Petersburg

**S t r e s z c z e n i e.** W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań rentgenograficznych przeprowadzonych w ramach współpracy naukowej między Instytutem Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie i Instytutem Agrofizyki RANR w Sankt Petersburgu.

**S ł o w a k l u c z o w e:** zboża, metoda rentgenograficzna, uszkodzenia wewnętrzne.

### WPROWADZENIE

Powszechnie znanym agrofizykom i nie budzącym wątpliwości faktem jest to, że jakość dowolnego materiału pochodzenia roślinnego ściśle wiąże się ze stanem jego struktury wewnętrznej. W dobie obecnej dla dokładnego poznania tej struktury najdogodniej jest posługiwać się metodą rentgenograficzną, która dostarczając ogromu informacji o naturze wnętrza badanego obiektu nie powoduje zmian jego składu chemicznego i właściwości fizycznych. Przydatność tej metody po raz pierwszy ujawniła się w pełni w badaniach dotyczących wartości biologicznej ziarna zbóż [8,9]. Podstawowym celem tych badań było wykrycie przyczyn niskiej jakości niektórych partii materiału siewnego, których wysianie skutkowało słabymi wschodami polowymi i w konsekwencji znaczną zniżką plonu. Ponadto, nie potrafiono określić powodów obniżonego wigoru takich nasion, których dorodność i wygląd zewnętrzny, oceniane organoleptycznie, spełniały wymagane kryteria jakościowe. Dopiero dzięki zastosowaniu detekcji rentgenowskiej możliwe stało się wykrywanie mechanicznych uszkodzeń wewnętrznych nasion zbóż, które w przeważającej liczbie przypadków determinowały obniżenie ich wartości biologicznej. Dlatego też nie może dziwić, iż

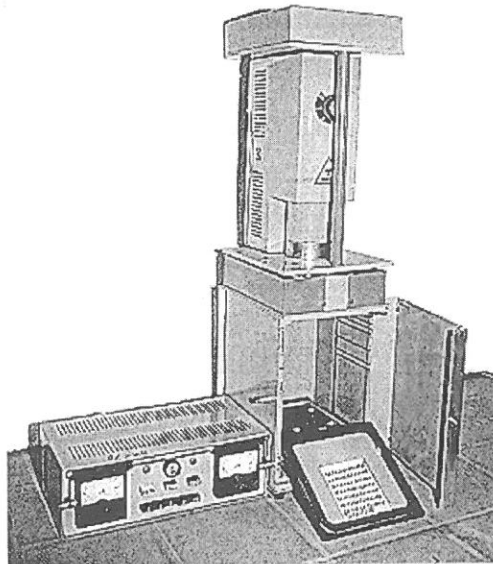
\*Praca referowana w ramach "Dni Nauki Polskiej w Rosji" (13-18.10.2001).

pracownicy naukowcy Instytutów Agrofizyki Polski i Rosji zaczęli wykorzystywać metodę rentgenograficzną jako skuteczne narzędzie w rozwiązywaniu problemów, które przed nimi stały. Towarzyszyło temu stałe rozszerzanie kręgu zadań i badanych obiektów, a sama metoda była rozwijana i modyfikowana [3,4,6,8,11,12].

Nasiona były jednymi z pierwszych obiektów próbnych jakie prześwietlano promieniami rentgenowskimi niemal natychmiast po ich odkryciu przez Roentgena. Jednakże przeważnie małe rozmiary nasion roślin uprawnych – a tym bardziej elementów ich struktury, a także niewielka gęstość tkanek budujących nasiona i nieznaczne różnice gęstości między poszczególnymi tkankami – powodowały, że szybko rozwijające się w medycynie i przemyśle techniki rentgenowskie były nieprzydatne do otrzymywania dokładnych obrazów rentgenowskich nasion. Stąd znaczne opóźnienie w zastosowaniu rentgenografii dla potrzeb nauk rolniczych, w tym i agrofizyki.

#### RYS HISTORYCZNY

Pierwszy specjalistyczny aparat rentgenowski (Rys. 1), przeznaczony do wykonywania obrazów rentgenowskich nasion został opracowany przy bezpośrednim udziale pracowników Instytutu Agrofizyki RANR w St. Petersburgu pod



Rys. 1. Aparat rentgenowski Elektronika 25

Fig. 1. Roentgenographic instrument Elektronika 25

naukowym kierownictwem dr V.N. Savina. Lampa tego aparatu posiadała krótką ogniskową, co zapewniało uzyskiwanie obrazów bez geometrycznych nieostrości oraz emitowała miękkie promieniowanie, dzięki czemu zapewniono odpowiedni poziom bezpieczeństwa pracy.

W 1985 roku w Instytucie Agrofizyki PAN – początkowo na aparacie AFI, a następnie na własnych aparatach – rozwinięto na szeroką skalę badania rentgenograficzne zarówno samodzielnie, jak i we współpracy z Instytutem w St. Petersburgu. Na podstawie ciągle odnawianych umów w ciągu 17 lat współpracy obie strony twórczo wymieniały się ideami, realizowanymi zadaniami badawczymi, materiałami i przede wszystkim pracownikami naukowymi. Przygotowano i wygłoszono 10 wspólnych wykładów na międzynarodowych konferencjach naukowych, opublikowano ponad 40 samodzielnych i wspólnych publikacji w periodykach naukowych Polski, Rosji, Czech i innych krajów. Obecnie jest przygotowywana wspólna monografia omawiająca wyniki badań rentgenograficznych prowadzonych głównie na ziarnie zbóż i nasionach innych roślin uprawnych.

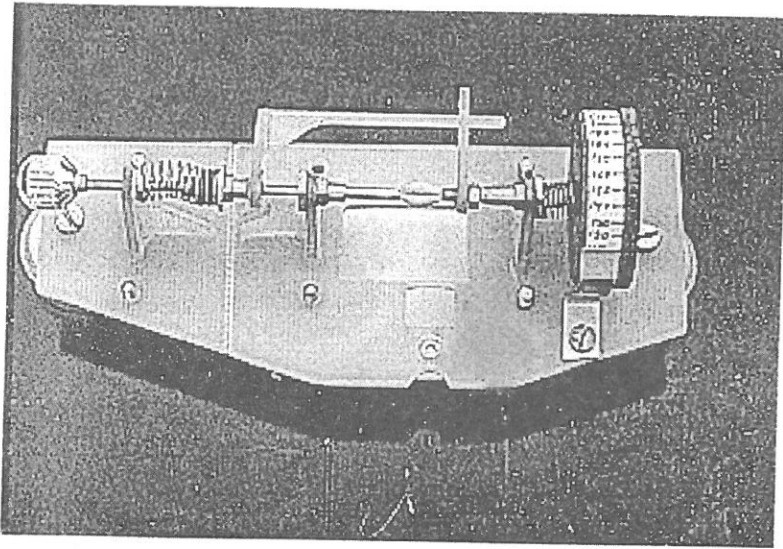
#### UDOSKONALENIA METODYCZNE

W toku prowadzonych badań zaczęły wychodzić na jaw pewne niedostatki wykorzystywanej metody i dlatego podjęto odpowiednie kroki w celu jej udoskonalenia. Zmodyfikowano sposób ułożenia kasety pomiarowej z ziarnami i kliszy rentgenowskiej w komorze pomiarowej aparatu [5]. Umożliwiło to uzyskanie maksymalnych informacji odnośnie stopnia uszkodzenia ziarna niezależnie od miejsca jego położenia na kasecie. Ponadto stwierdzono, że optymalne są średnie powiększenia (trzy i pięciokrotne) dające najwięcej informacji o wewnętrznej strukturze ziaren. Dalszy postęp osiągnięto dzięki skonstruowaniu specjalnej przystawki przedstawionej na Rys. 2.

Przystawka ta umożliwiała obrót badanych ziarniaków o zadany kąt wzdłuż dowolnie wybranej osi [7]. Wielokrotna ekspozycja tych samych ziarniaków znacząco zwiększała ilość uzyskiwanej informacji, dzięki ujawnieniu praktycznie wszystkich naruszeń ciągłości tkanek w obrębie ziarniaka.

#### PROBLEMATYKA BADAWCZA

Problemem badawczym, który nieustannie przewijał się w ciągu lat współpracy, było zastosowanie metody rentgenograficznej do oceny poziomu mechanicznych uszkodzeń wewnętrznych ziarna pszenicy. Problematyka ta obejmowała następujące zagadnienia szczególne:



Rys. 2. Przystawka do przestrzennej analizy uszkodzeń wewnętrznych nasion  
 Fig. 2. X-ray instrument attachment for fixing the kernel in a chosen position

1. Opracowanie optymalnego sposobu wykrywania uszkodzeń wewnętrznych ziarna, dobór optymalnych parametrów pracy aparatu rentgenowskiego oraz ekspozycji badanego obiektu.
2. Analiza rodzajów uszkodzeń w zależności od czynników determinujących ich powstawanie:
  - a. klimatycznych uszkodzenia powstające, gdy ziarno pozostaje jeszcze w kłosach,
  - b. mechanicznych np. podczas zbioru, transportu lub sortowania,
  - c. modelowane statyczne i dynamiczne obciążenia,
3. Ilościowa ocena uszkodzeń.
4. Lokalizacja uszkodzeń i ich znaczenie biologiczne.
5. Podatność ziarna na uszkodzenia w zależności od jego cech genotypowych i fenotypowych, np. forma, odmiana, zawartość białka i inne.
6. Opracowanie katalogu najpowszechniej spotykanych, a zarazem najważniejszych z biologicznego i technologicznego punktu widzenia, uszkodzeń ziarna pszenicy.

Wymieniona powyżej tematyka pozostawała w kręgu zainteresowań badawczych nie tylko naszych placówek, ale również innych wiodących ośrodków w dziedzinie nauk rolniczych. Amerykańskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej dokonało

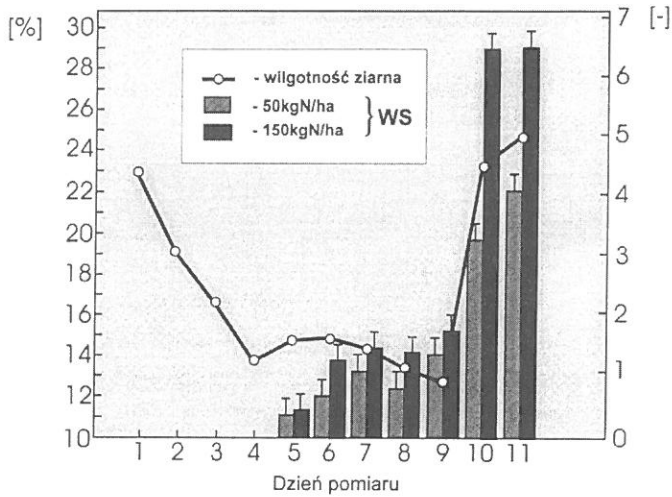
analizy najwybitniejszych osiągnięć naukowych w swojej dziedzinie w ciągu minionego stulecia. Poczesne miejsce wśród tych osiągnięć zajęły prace profesora Kunze (USA), w których opisano mechanizm powstawania pęknięć w ziarnach ryżu [1].

#### WYBRANE WYNIKI BADAŃ

W podobnym jak u prof. Kunze czysto agrofizycznym obszarze badań także w Instytucie Agrofizyki PAN odnotowano pewne sukcesy. Wykorzystując technikę rentgenograficzną przeprowadzono analizę powstawania pęknięć bielma ziarna pszenicy w okresie dojrzewania [2]. Z dojrzewaniem ziarna nierozzerwalnie związany jest sukcesywny spadek jego wilgotności. Wymogi zbioru kombajnowego oraz chęć wyeliminowania kosztów dosuszania po zbiorze powodują, że rolnicy dążą do zbierania ziarna o jak najmniejszej wilgotności, nawet 11-12%. Tymczasem ziarno pszenicy po osiągnięciu wilgotności 14% i niższej staje się wrażliwe na oddziaływanie czynników pogodowych, takich jak: deszcz i rosa. Wzrost wilgotności w pełni dojrzałego ziarna powoduje powstanie wewnętrznych naprężeń, których skutkiem są pęknięcia najbardziej podatnej na uszkodzenia tkanki zapasowej ziarna bielma.

Na Rys. 3 przedstawiono zmiany sumarycznego wskaźnika uszkodzeń ziarna (WS) w kolejnych dniach obserwacji pszenicy ozimej odmiany Almari. W pierwszych dniach obserwacji – gdy wilgotność ziarna nie osiągnęła, krytycznych z punktu widzenia, powstawania wewnętrznych uszkodzeń, 14% – nie odnotowano pęknięć endospermu i wartość sumarycznego wskaźnika uszkodzeń wynosiła 0. Dopiero osiągnięcie wspomnianej wilgotności 14% stało się *conditio sine qua non* pojawienia się wewnętrznej destrukcji ziarna. Początkowo niewielkie wartości wskaźnika uszkodzeń były skutkiem nawilżania ziarna przez rosę, natomiast w ostatnich dwóch dniach pomiarów wskaźnik osiągnął wartości powyżej 6 w skali od 0 do 9. Przyczyną były intensywne, niemal ciągłe, zwłaszcza w godzinach nocnych i porannych 9. dnia pomiarów, opady deszczu, które spowodowały wzrost wilgotności ziarna o 12% i tym samym znaczne uszkodzenia wewnętrzne. Warto zwrócić uwagę na negatywny wpływ podwyższonej dawki mineralnego nawożenia azotowego, która zwiększała podatność ziarna na tego rodzaju uszkodzenia. Ten wpływ tak widoczny u pszenic ozimych jest słabo zauważalny u jarych, co powinno zainteresować hodowców pszenicy i fizjologów roślin [2].

Dzięki tym wynikom, jak i uzyskanym dla szeregu innych odmian pszenic ozimych i jarych, stało się jasne, że nie tylko elementy robocze kombajnu i innych



**Rys. 3.** Wilgotność i sumaryczny wskaźnik uszkodzeń pszenicy ozimej odmiany Almari w kolejnych dniach pomiarów początek obserwacji 28.07.

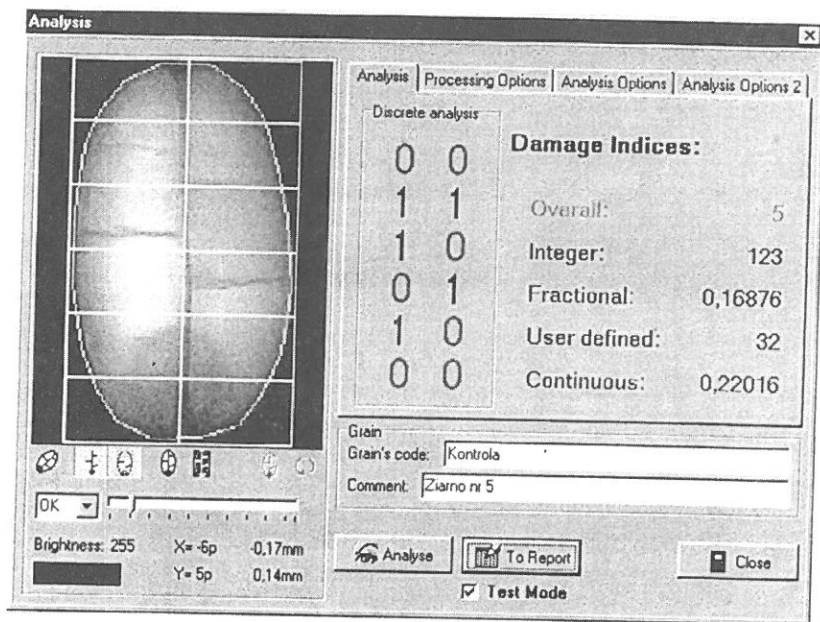
**Fig. 3.** Moisture content and summary index of grain damage of winter cv. Almari in successive days of measurements beginning 28.07.

maszyn uczestniczących w procesach obróbki ziarna po zbiorze są odpowiedzialne za powstawanie uszkodzeń, ale także warunki pogodowe w okresie przedzimo-wym. Co więcej, powstałe w tym czasie uszkodzenia wewnętrzne znacząco ułatwiają destrukcyjne oddziaływanie elementów maszyn biorących udział w zbiorze i obróbce pozbiorowej ziarna.

#### PERSPEKTYWY ROZWOJU

Ocena jakościowa ziarna zbóż nie może ograniczać się tylko do ujawnienia i liczbowego wyrażenia uszkodzeń mechanicznych. Ważne jest uzyskanie pełnej ilościowej i jakościowej charakterystyki struktury ziarniaka, co może zapewnić jedynie analiza komputerowa. W związku z tym podjęto pierwsze kroki w kierunku wykorzystania komputerowej analizy obrazu ziarniaka do realizacji założonego celu (Rys. 4).

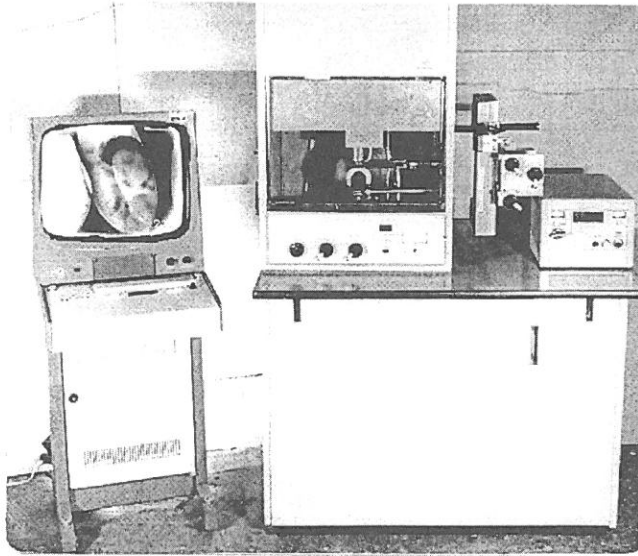
Nadal jednak wykorzystuje się kliszę rentgenowską, z której obraz ziarniaka wprowadzany jest do pamięci komputera za pośrednictwem skanera. Następnie program Ziarno analizując obraz dokonuje lokalizacji, klasyfikacji oraz oceny ujawnionych uszkodzeń i struktury wnętrza ziarniaka. Uzyskiwanie obrazu na kliszy to wszakże czasochłonny proces – ekspozycja, wywoływanie, utrwalanie – stąd następnym krokiem wydaje się być telewizyjny mikroskop rentgenowski.



Rys. 4. Okno z programu Ziarno do analizy obrazów rentgenograficznych pojedynczych ziarniaków  
 Fig. 4. Raport of programme Grains used at the analysis of x-ray picture of single kernel

Instytut Agrofizyki w St. Petersburgu posiada urządzenie pod nazwą Telewizyjny Mikroskop Rentgenowski (Rys. 5), które można uważać za prototyp przyszłego systemu pomiarowego. Największą jego zaletą jest to, że w ciągu kilku sekund od ułożenia badanego obiektu uzyskuje się jego obraz na ekranie monitora, co eliminuje czasochłonne czynności związane z obróbką kliszy rentgenowskiej.

System umożliwia również dowolne pozycjonowanie badanego obiektu, a następnie wykonywanie wszelkich analiz, przede wszystkim obliczeń statystycznych, za pomocą odpowiedniego oprogramowania. Tego typu rozwiązania techniczne są już stosowane w medycynie i niektórych specjalistycznych gałęziach przemysłu. Jednak parametry pracy tych urządzeń i serwisowe oprzyrządowanie sprawiają, iż niemożliwa jest ich bezpośrednia adaptacja dla potrzeb badań agrofizycznych. Połączenie wysiłków obu Instytutów Agrofizyki z Polski i Rosji i wspólne opracowanie systemu pomiarowego na podstawie telewizyjnego mikroskopu rentgenowskiego pozwoliłoby im zachować przodującą pozycję w rentgenodiagnostyce materiałów pochodzenia rolniczego.



**Rys. 5.** Widok ogólny telewizyjnego mikroskopu rentgenowskiego  
**Fig. 5.** Overall view of the television X-ray microscope

## PIŚMIENNICTWO

1. **Cuello J.L., Huggins L.F.:** Outstanding agricultural engineering achievements of the 20<sup>th</sup> century. Resource, April, 18-19, 2000.
2. **Geodecki M.:** Uszkodzenia wewnętrzne ziarna pszenicy powstające w okresie przedbiorowym. Praca doktorska, IA PAN, 1999.
3. **Grundas S., Miś A.:** Mechanical damage of wheat grain and its hardness. Int. Agrophysics, 8(2), 239-244, 1994.
4. **Grundas S., Velikanov L.:** Identyfikacja uszkodzeń mechanicznych ziarna zbóż metodą rentgenowską. Inżynieria Rolnicza 2, 77-83, 2001.
5. **Grundas S., Velikanov L., Archipov M.:** Importance of wheat grain orientation for the detection of internal mechanical damage by the X-ray method. Int. Agrophysics, 13, 355-361, 1999.
6. **Grundas S., Geodecki M., Niewczas J., Velikanov L.:** Static loading of wheat grain mass of differentiated moisture content. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 103-109, 1993.
7. **Grundas S., Velikanov L., Szwed G., Łukaszuk J.:** Przystawka aparatu Roentgena do przestrzennej analizy uszkodzeń wewnętrznych nasion. Wzór użytkowy 86953, 1992.
8. **Niewczas J., Grundas S., Ślipek Z.:** The analysis of increments of internal damage to wheat grain affected dynamic loading. Int. Agrophysics, 8(2), 283-287, 1994.
9. **Savin V., Nikolenko V., Aleksiejewa D., Grundas S., Geodecki M.:** Vlijanije vnutriennej mikrotravmirovannosti ziarna ozimój pszenicy na jego vschożest. Dostizhenia Nauki i Techniki, 12, 19-21, 1988.
10. **Styk B., Grundas S., Savin V., Velikanov L.:** Ocenka mechaniczeskich povreždienij ziarna jarovoj pszenicy kolorimetriczeskim i rentgienograficzeskim mietodami. Mieżdunarodnyj Agro-Promyszlennyj Żurnał, 1, 85-89, 1989.



11. **Velikanov L., Geodecki M., Grundas S., Niewczas J.:** Some biological effects of static loading applied to grain mass of differentiated moisture content. Part II. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 399, 267-271, 1994.
12. **Woźniak W., Styk W., Geodecki M.:** High relative humidity as a cause of inner damage of wheat grain. Int. Agrophysics, 8, 2, 377-381, 1994.

## APPLICATION OF X-RAY METHOD IN STUDIES OF PLANT MATERIALS

*S. Grundas*<sup>1</sup>, *M. Geodecki*<sup>1</sup>, *L. Velikanov*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Agrophysics PAS, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

<sup>2</sup>Institute of Agrophysics RASS, Graždanskij Prospekt 14, Sankt Petersburg

**S u m m a r y.** The results of selected roentgenographic studies conducted within the research cooperation between the Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences in Lublin and the Institute of Agrophysics, Russian Academy of Agricultural Sciences in Sankt Petersburg.

**K e y w o r d s:** cereals, x-ray method, inner damage.