

WSTĘPNE WYNIKI ZASTOSOWANIA REFLEKTOMETRII CZASOWEJ
DO ROZRÓŻNIANIA ZDROWEGO
I PORAŻONEGO FUZARIOZĄ ZIARNA PSZENICY

Tomasz Hiller, Ryszard Siuda, Andrzej Grabowski

Instytut Matematyki i Fizyki, Uniwersytet Techniczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
ul. Kaliskiego 7, 85-796, Bydgoszcz
e-mail: tomasz.hiller@utp.edu.pl

Streszczenie. Celem pomiarów było określenie przydatności reflektometrii czasowej (TDR) do rozróżniania zdrowego i porażonego fuzariozą ziarna pszenicy. Materiał doświadczalny stanowiło ziarno pszenicy trzech odmian ozimych i jednej jarej. Reflektogramy TDR dla ziarna kontrolnego i porażonego wykazują nieznaczne różnice, jednakże zastosowanie metod statystycznej analizy wielowymiarowej do zespołów zarejestrowanych reflektogramów pozwoliło te różnice ująć wystarczająco wyraźnie by móc odróżnić ziarno porażone od kontrolnego.

Słowa kluczowe: fuzarioza, pszenica, TDR, AGS, LAD

WSTĘP

Prace nad zastosowaniem metod fizycznych do wykrywania porażenia ziarna pszenicy fuzariozą są prowadzone w licznych ośrodkach naukowych. Powodem tego zainteresowania jest fakt, iż metody fizyczne pozwalają otrzymać wynik pomiarów w krótszym czasie i przy niższych kosztach niż w przypadku stosowania metod chemicznej analizy składu ziarna. Najbardziej popularne wśród metod fizycznych wydają się metody spektroskopii optycznej, zwłaszcza w zakresie bliskiej podczerwieni (Berman i in. 2007, Delwiche 2003, Delwiche i Hareland 2004, Dowell i in. 1999), Pettersson and Åberg 2003, Polder i in. 2005). Jednak znane są także prace, w których wykorzystuje się wyniki pomiarów podstawowych cech fizycznych pojedynczych ziarniaków, takich jak masa, średnica zastępcza, wilgotność i twardość w połączeniu z pomiarami optycznymi (Siuda i in. 2006). W innym podejściu oceniano możliwość wykorzystania pomiarów czterech wymienionych cech (możliwych do przeprowadzenia za pomocą urządzenia SKCS 4100 firmy Perten Instru-

ments) rozszerzonych o pomiar objętości i wyliczonej gęstości (masy właściwej) (Grabowski i in. 2008, Siuda i in. 2006). Znane są także próby wykorzystania do wykrywania fuzariozy pochłaniania i odbicia ultradźwięków (Juodeikiene i in. 2004, Juodeikiene i in. 2005). Według wiedzy autorów nie ma publikacji, w których próbowano by ocenić możliwości związane z reflektometrią czasową TDR (Time Domain Reflectometry) ziarna w kontekście wykrywania fuzariozy, chociaż znane są liczne publikacje opisujące zastosowania tego typu pomiarów do wyznaczania wilgotności ziarna (Kwok i in. 1979).

Można oczekiwać, że zastosowanie TDR do wyznaczania cech innych niż wilgotność nastęrczy więcej trudności, gdyż duża wartość stałej dielektrycznej wody czyni pomiar wilgotności stosunkowo łatwym. Jednakże zastosowanie do analizy reflektogramów metod stosowanych do interpretacji widm optycznych, takich jak analiza głównych składowych (AGS) i kalibracja wielowymiarowa (Vandeginste i in. 1997) stwarza nadzieję na możliwość wyodrębnienia i ilościowego opisu efektów subtelniejszych niż te, które związane są ze zmianami wilgotności ziarna (Siuda i in. 2008). Z tego powodu uznano za celowe wypróbowanie możliwości, jakie oferuje ta technika w powiązaniu ze współczesnymi metodami interpretacji danych w zastosowaniu do rozróżniania ziarna porażonego fuzariozą i ziarna kontrolnego.

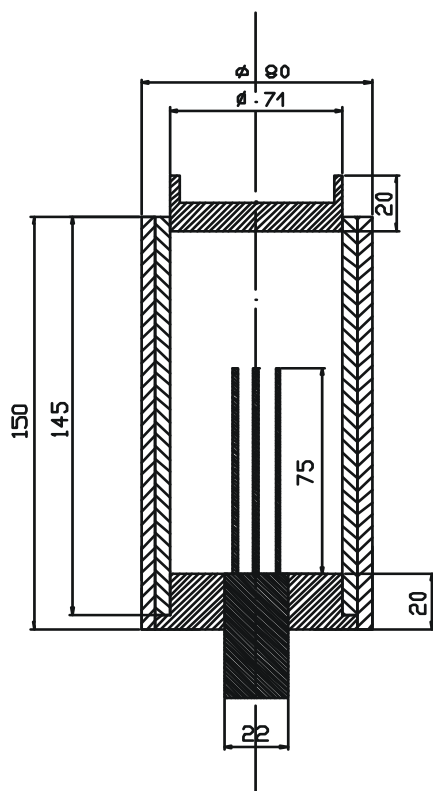
MATERIAŁ I METODY

Materiał

Materiał doświadczalny stanowiło ziarno trzech odmian pszenicy ozimej (Trend, Tonacja, Satyna) i jednej odmiany jarej (Bombona), każda uprawiana na dwóch poletkach doświadczalnych w roku 2006. Na jednym poletku pszenica rosła w warunkach naturalnych (materiał kontrolny), zaś na drugim w okresie kwitnienia dokonywano inokulacji kłosów zarodnikami *Fusarium culmorum* (materiał porażony). Po zbiorach obie kategorie ziarna suszono powietrznie w warunkach laboratoryjnych, w których także było przechowywane przed i w trakcie pomiarów (temperatura ok. 21°C, wilgotność ok. 60%).

Przyrząd

W Zakładzie Fizyki Doświadczalnej UTP zaprojektowano i wykonano stanowisko pomiarowe z zastosowaniem reflektometru TDR100 (firmy Campbell Scientific), pozwalające rejestrować reflektogramy próbek ziarna o objętości ok. 400 ml w warunkach kontrolowanego ciśnienia (poprzez regulację siły docisku denka pojemnika) wywieranego na ziarno znajdujące się w cylindrze pomiarowym.



Rys. 1. Schemat pojemnika na ziarno
Fig. 1. Schematic of sample container

na ziarno wynosi 71 mm. Jego wysokość natomiast, uzależniona od pozycji górnego denka mieści się w przedziale od 90 mm do 125 mm. Pozwala to na pomiar próbek o objętości od 360 ml do 500 ml.

Pomiary

Procedurę pomiarową rozpoczęto od odsypania z materiału pomiarowego 8 próbek (4 odmiany ziarna w 2 kategoriach – kontrolnej i porażonej) o jednakowej objętości, do szklanych naczyń, w których były przechowywane pomiędzy pomiarami. Następnie wykonano 5 serii pomiarowych dla próbek kategorii kontrolnej, na każdą serię składały się 4 pomiary po jednym dla każdej odmiany. W analogiczny sposób później wykonano 5 serii dla kategorii porażonej.

Czynności związane z każdym pomiarem wyglądały następująco: do pojemnika wsypywano przygotowaną próbkę ziarna, następnie zakładano denko, opuszczano

Generator TDR100 wytwarza impuls o napięciu 250 mV, czasie trwania 14 μ s oraz czasie narastania 170 ps. Układ próbkujący TDR100 pozwala zarejestrować od 20 do 2048 punktów w pojedynczym reflektogramie. W każdym punkcie rejestruje się wartość współczynnika odbicia, która może być średnią z maksymalnie 128 pomiarów. Zdolność rozdzielcza TDR100 wynosi 12,2 ps. Reflektometr połączony jest kablem o impedancji 50 Ω z sondą pomiarową. W wykonanym stanowisku zastosowano sondę CS645 (firmy Campbell Scientific), w postaci trzech prętów o długości 75 mm i średnicy 1,59 mm rozstawionych równolegle w płaszczyźnie w odstępach 7,5 mm. Sonda osadzona jest w dolnym denku pojemnika na ziarno (rys. 1). Pojemnik w kształcie walca jest zamykany z obu stron denkami, z których górne jest przesuwne, umożliwiając jego napełnianie oraz regulowanie siły docisku. Wewnętrzna średnica pojemnika

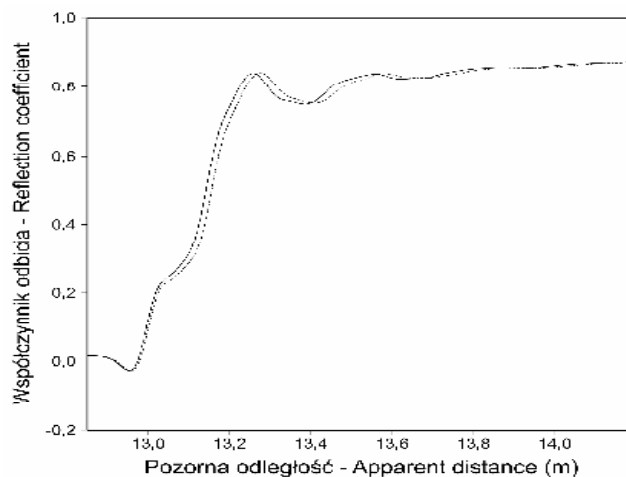
śrubę dociskającą do powierzchni denka i wykonywano 10 obrotów śrubą. Siła docisku wynosiła 315 N, co powodowało, że zewnętrzne ciśnienie działające na ziarno zawarte w pojemniku wynosiło około 800 hPa. Przed każdym pomiarem ziarno było mieszane. Każdy pomiar polegał na zarejestrowaniu za pomocą programu PCTDR (Campbell Scientific) 20 reflektogramów (współczynnik odbicia w funkcji punktu pomiarowego), każde z 2000 punktów, wartość w każdym punkcie była średnią 50 odczytów. Po zakończeniu pomiaru ziarno przesypywano do szklanego naczynia, następnie wykonywano pomiar dla kolejnej odmiany. W wyniku pomiarów otrzymano po 100 reflektogramów dla każdej próbki.

Metody analizy

Do interpretacji wyników pomiarów zastosowano dwie metody statystycznej analizy wielowymiarowej, t.j. analizę głównych składowych (ang. principal component analysis, PCA) oraz liniową analizę dyskryminacyjną (ang. linear discriminant analysis, LDA) (Dobosz 2004). Pierwsza z metod pozwala uwidocznić strukturę danych, natomiast druga jest narzędziem najczęściej stosowanym do zagadnień zarówno dyskryminacji, jak i klasyfikacji obiektów wielowymiarowych (Vandeginste i in. 1997). Dane w postaci reflektogramów reprezentuje się jako wektory w przestrzeni zmiennych (punktów pomiarowych), co pozwala na analizę geometryczną ich struktury i nazywa obiektami. Obliczenia, które były konieczne w związku z zastosowaniem obu metod wykonano za pomocą pakietu PLS-Toolbox (Eigenvector Research, Inc., USA) programu Matlab (Mathworks, Inc., USA).

WYNIKI I DYSKUSJA

Do przedstawienia na wykresach wybrano wyniki dla odmiany Satyna, ze względu na to, iż są to wyniki typowe dla ziarna pszenicy ozimej. Dane pomiarowe dla odmiany pszenicy jarej (Bombona) nie modelują się tak dobrze, co jest widoczne w tabeli 3. Na wykresach wykonanych dla tej odmiany widoczne jest to głównie poprzez mniejsze rozdzielanie kategorii porażonej od kontrolnej. Na rysunku 2 przedstawione są reflektogramy dla próbek ziarna odmiany Satyna kategorii kontrolnej i porażonej uzyskane w wyniku uśrednienia wszystkich reflektogramów dla danej próbki. Zauważalne na wykresie jest przesunięcie reflektogramu kategorii porażonej względem reflektogramu kategorii kontrolnej. Różnice pomiędzy reflektogramami widoczne są jedynie, gdy na wykresie znajdują się pojedyncze uśrednione reflektogramy, w przypadku naniesienia wszystkich zarejestrowanych reflektogramów wykres staje się nieczytelny. Więcej informacji z wykonanych pomiarów pozwalają uzyskać metody statystycznej analizy wielowymiarowej.

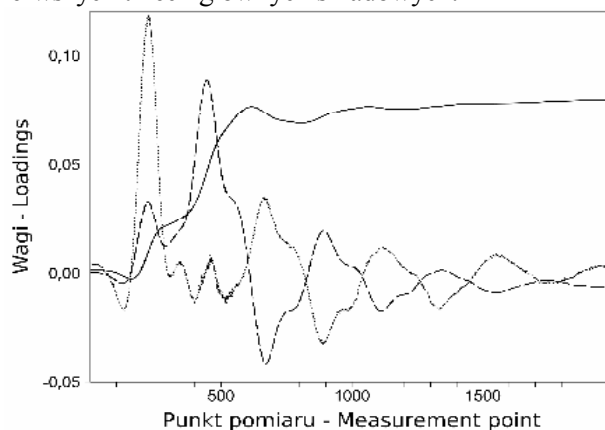


Rys. 2. Uśrednione (100 pojedynczych reflektogramów dla każdej kategorii) reflektogramy zarejestrowane dla odmiany Satyna, linia przerywana – ziarno kontrolne, ciągła – porażone

Fig. 2. Waveforms averaged over 100 scans each for healthy (dashed line) and damaged (solid) grain of variety Satyna

Wyniki AGS

Do analizy właściwości zespołów reflektogramów otrzymanych z wszystkich serii pomiarowych zastosowano AGS. Na rysunku 3 przedstawiono wykresy wag (loadings) dla pierwszych trzech głównych składowych.



Rys. 3. Wagi poszczególnych głównych składowych: 1GS – linia ciągła, 2GS – przerywana, 3GS – kropkowana

Fig. 3. Loadings on particular PC: 1PC – solid line, 2PC – dashed, 3PC – dotted

Obliczenia wykonano dla wszystkich zarejestrowanych reflektogramów (tab. 1) oraz dla reflektogramów uśrednionych w ramach nasypek, aby zminimalizować wpływ źródeł przypadkowych zaburzeń (tab. 2).

Tabela 1. Parametry charakteryzujące strukturę zestawów reflektogramów zarejestrowanych dla poszczególnych odmian (k – kategoria kontrolna, p – kategoria porażona) dla wszystkich pomiarów
Table 1. Values of some parameters chosen to characterize the structure of the sets of all waveforms recorded for particular wheat varieties (k – control grain, p – damaged grain)

		Bombona		Trend		Tonacja		Satyna	
		k	p	k	p	k	p	k	p
Zmiany intensywności 1GS Changes in intensity 1PC (%)		0,29	0,17	0,31	0,17	0,23	0,15	0,29	0,16
Względny udział Relative im- portance	$2GS \times 10^{-5}$ $2PC \times 10^{-5}$	5,2	2,4	5,6	1,8	2,4	1,8	4,4	2,2
	$3GS \times 10^{-6}$ $3PC \times 10^{-6}$	0,74	2,8	0,94	2,2	0,99	1,4	2,2	2,3

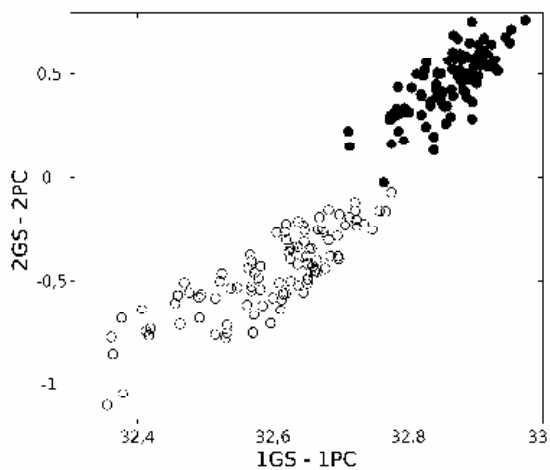
GS – główna składowa – PC – principl component.

Tabela 2. Parametry charakteryzujące strukturę zestawów reflektogramów zarejestrowanych dla poszczególnych odmian (k – kategoria kontrolna, p – kategoria porażona) dla uśrednionych reflektogramów
Table 2. Values of some parameters chosen to characterize the structure of the sets of averaged waveforms for particular wheat varieties (k – control grain, p – damaged grain)

		Bombona		Trend		Tonacja		Satyna	
		k	p	k	p	k	p	k	p
Zmiany intensywności 1GS Changes in intensity 1PC (%)		0,21	0,075	0,27	0,092	0,15	0,077	0,24	0,064
Względny udział Relative importance	$2GS \times 10^{-5}$ $2PC \times 10^{-5}$	3,2	0,78	4,0	0,35	1,1	0,31	2,6	0,84
	$3GS \times 10^{-6}$ $3PC \times 10^{-6}$	0,66	2,1	0,67	1,2	0,73	1,2	2,2	1,0

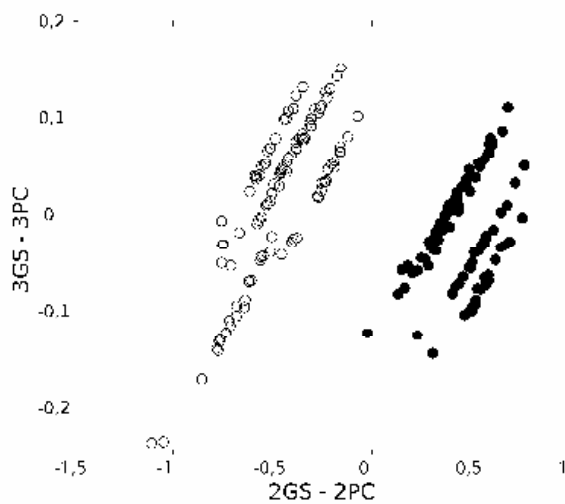
Wyniki AGS pokazują, że dla wszystkich czterech odmian wyraźnie dominujący wpływ na strukturę zespołów reflektogramów miała pierwsza główna składowa (1GS) (ang. first principal component, 1PC) zarówno dla całego zestawu reflektogramów jak i reflektogramów uśrednionych. Wariancja z nią związana jest o 5-6 rzędów wielkości większa od wariancji związanej z kolejnymi głównymi składowymi, co znaczy, że intensywność rejestrowanego sygnału w praktyce określona jest przez udział tylko pierwszej GS. Na podstawie zmian wartości tych udziałów w poszczególnych seriach można oszacować powtarzalność intensywności mierzonych sygnałów, poprzez stosunki odchyleń standardowych udziałów 1GS do wartości średnich dla poszczególnych serii. Wartości te umieszczone w tabeli 1 pokazują, że tak mierzone zmiany intensywności we wszystkich seriach nie przekraczały 0,5%. Dla reflektogramów uśrednionych wartości te dla ziarna kontrolnego są nieznacznie mniejsze, natomiast dla ziarna porażonego – znacząco mniejsze. Dla kolejnych GS (2GS i 3GS) wyliczono spadek wariancji w stosunku do wariancji związanej z 1GS jako stosunek odpowiednich wartości własnych, który nazwano względnym udziałem, a wyniki ujęto w tabelach 1 i 2. W porównaniu z ziarnem kontrolnym, dla ziarna porażonego ten stosunek jest mniejszy w przypadku 2GS i większy dla 3GS. W przypadku reflektogramów uśrednionych wartości wszystkich tych stosunków maleją, a szczególnie dla 2GS ziarna porażonego.

Na rysunkach 4a i 5a przedstawiono mapę obiektów dla pierwszej i drugiej głównej składowej (2 wymiarowy rzut obiektów na podprzestrzeń pierwszej i drugiej GS). Na rysunku 4a zawarte są wszystkie obiekty dla odmiany Satyna, natomiast na rysunku 5a pomiary w ramach nasypek zostały uśrednione. Widać, że w obu przypadkach ułożenie punktów ma charakter nieprzypadkowy: punkty reprezentujące pomiary wykonane dla kategorii kontrolnej znajdują się w lewym dolnym obszarze wykresów, natomiast punkty przedstawiające kategorię porażoną – w prawym górnym rogu. Rozdzielenie kategorii występuje zarówno wzdłuż 1GS jak i 2GS. W ramach poszczególnych kategorii ułożenie punktów jest dość przypadkowe, jedynie punkty (1-20) reprezentujące pierwszą nasypkę są przesunięte w kierunku mniejszych wartości obu GS. Fakt odstawiania pierwszej nasypki od pozostałych jest jeszcze lepiej widoczny na rysunkach 4b i 5b. Wprawdzie 3GS nie wnosi widocznego wkładu w przesunięcie kategorii, ale mapa obiektów drugiej i trzeciej głównej składowej wydaje się lepiej rozdzielać kategorie kontrolną i porażoną, przynajmniej w przypadku pomiarów nie uśrednionych. Widoczne jest także pogrupowanie pomiarów należących do poszczególnych nasypek.



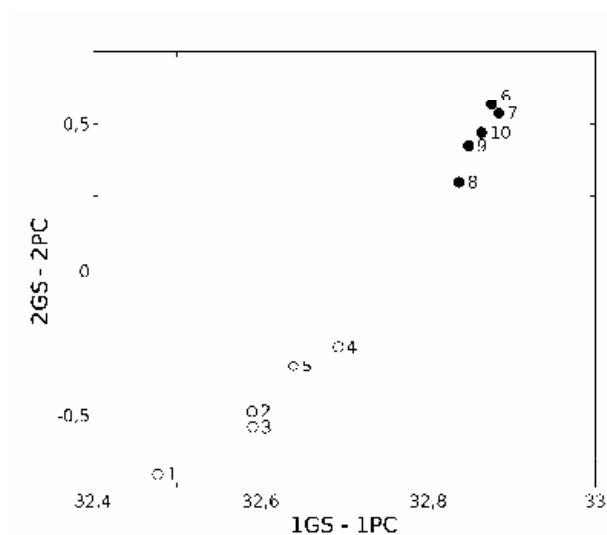
Rys. 4a. Mapa obiektów dla pierwszej i drugiej głównej składowej dla odmiany Satyna (symbole puste – ziarno kontrolne, symbole wypełnione – ziarno porażone)

Fig. 4a. Two dimensional plots of scores on first and second PC of original waveforms for variety Satyna (empty symbols for healthy grain, filled – for damaged grain)



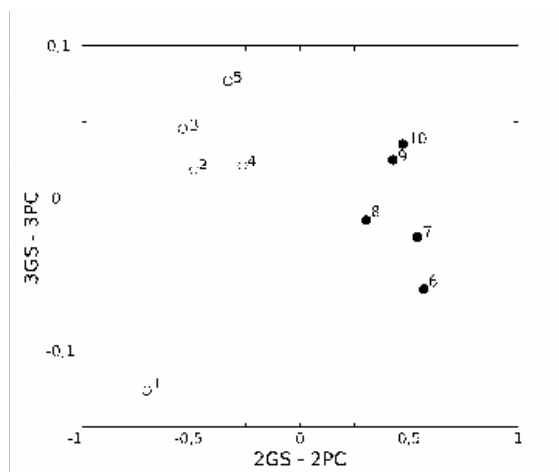
Rys. 4b. Mapa obiektów dla drugiej i trzeciej głównej składowej dla odmiany Satyna (symbole puste – ziarno kontrolne, symbole wypełnione – ziarno porażone)

Fig. 4b. Two dimensional plots of scores on second and third PC of original waveforms for variety Satyna (empty symbols for healthy grain, filled – for damaged grain)



Rys. 5a. Mapa obiektów dla pierwszej i drugiej głównej składowej dla odmiany Satyna, uśrednione nasypki (symbole puste – ziarno kontrolne, symbole wypełnione - ziarno porażone)

Fig. 5a. Two dimensional plots of scores on first and second PC of averaged waveforms for variety Satyna (empty symbols for healthy grain, filled – for damaged grain)



Rys. 5b. Mapa obiektów dla drugiej i trzeciej głównej składowej dla odmiany Satyna uśrednione nasypki (symbole puste – ziarno kontrolne, symbole wypełnione – ziarno porażone)

Fig. 5b. Two dimensional plots of scores on second and third PC of averaged waveforms for variety Satyna (empty symbols for healthy grain, filled – for damaged grain)

Wyniki LDA

W celu określenia stopnia odseparowania reflektogramów dwu kategorii ziarna zastosowano liniową analizę dyskryminacyjną (LDA) dla modelu danych pomiarowych uzyskanego przy wykorzystaniu trzech pierwszych GS. Otrzymane wartości funkcji dyskryminacyjnej określają przynależność poszczególnych pomiarów do kategorii ziarna kontrolnego bądź porażonego. Miarą rozdzielenia tych grup jest wartość współczynnika Fishera wyliczona na podstawie wzoru (Sharaf i in. 1986)

$$F_{KP} = \frac{|\overline{D}_K - \overline{D}_P|}{\sqrt{s_K^2 + s_P^2}}, \quad (1)$$

gdzie \overline{D}_K i \overline{D}_P oraz s_K i s_P są, odpowiednio, średnimi wartościami funkcji dyskryminacyjnej i odchyleniami standardowymi dla grup kontrolnej i porażonej. Wartości współczynnika Fishera wyliczone dla poszczególnych odmian, wszystkich odmian łącznie oraz wszystkich odmian z wyłączeniem odmiany Bombona umieszczono w tabeli 3. We wszystkich przypadkach obliczenia wykonano dla oryginalnych danych oraz danych uśrednionych w obrębie każdej nasypki. Im większa wartość współczynnika Fishera, tym kategorie ziarna są bardziej rozdzielone. Wartości współczynnika Fishera zbliżone do 4 oznaczają, że można przyjąć, iż istnieje praktyczne rozróżnienie ziarna na dwie kategorie. Zarówno dla uśrednionych jak i pojedynczych reflektogramów, LDA daje najlepsze wyniki w przypadku, gdy do wyznaczenia funkcji dyskryminacyjnej wzięte są trzy główne składowe. Zbliżone wyniki otrzymujemy przy zastosowaniu 2 i 3 GS do reflektogramów nieuśrednionych oraz 1 i 2 GS dla uśrednionych.

Tabela 3. Wartości współczynnika Fishera dla wybranych kombinacji głównych składowych
Table 3. Values of Fisher coefficient for selected combinations of principal components (oryg. – all waveforms, sr. – averaged)

GS PC	Bombona		Trend		Tonacja		Satyna		Wszystkie bez Bombo- ny- All without Bombona		Wszystkie All	
	oryg.	sr.	oryg.	sr.	oryg.	sr.	oryg.	sr.	oryg.	sr.	oryg.	sr.
1 2	1,55	2,83	2,64	5,75	3,12	7,34	3,77	5,33	2,93	4,28	2,39	3,11
1 3	1,44	2,07	2,46	2,65	3,02	4,50	3,52	4,38	2,71	3,19	2,08	2,40
2 3	2,0	2,53	3,91	3,63	5,62	6,87	5,45	5,32	4,23	4,27	3,21	3,49
1 2 3	2,02	3,91	4,03	6,01	5,64	7,80	5,45	5,49	4,24	4,52	3,21	3,54

WNIOSEK

Reflektogramy TDR dla ziarna kontrolnego i porażonego wykazują nieznaczne różnice, jednakże zastosowanie metod statystycznej analizy wielowymiarowej do zespołów zarejestrowanych reflektogramów pozwala te różnice ująć wystarczająco wyraźnie by móc odróżnić ziarno porażone od kontrolnego. Można oczekiwać, że opracowanie udoskonalonej procedury pomiarowej zmniejszającej wpływ przypadkowych zaburzeń poprawi zdolność TDR do rozróżniania próbek ziarna porażonego i zdrowego. W związku z tym celowe wydaje się kontynuowanie prac mających na celu zarówno zebranie wyników dla większej liczby odmian, jak i wyjaśnienie, jakie cechy ziarna (ziarniaków) decydują o wystąpieniu różnic w reflektogramach TDR.

PIŚMIENNICTWO

- Berman M., Conor P.M., Withbourn L.B., Coward D.A., Osborne B.G., Southan M.D., 2007. Classification of sound and stained wheat grains using visible and near infrared hyperspectral image analysis. *J. Near Infrared Spectrosc.*, 15, 351-358.
- Delwiche S.R., 2003. Classification of scab- and other mould-damaged wheat kernels by near-infrared reflectance spectroscopy. *Trans. ASAE*, 46, 731-738.
- Delwiche S.R., Hareland G.A., 2004. Detection of scab-damaged hard red spring wheat kernels by near-infrared reflectance. *Cereal Chemistry*, 81, 643-649.
- Dobosz M., 2004. Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań, AOW Exit, Warszawa.
- Dowell F.E., Maghirang E.B., Graybosch R.A., Baenziger P.S., Baltensperger D.D., Hansen L.E., 2006. An Automated Near-Infrared System for Selecting Individual Kernels Based on Specific Quality Characteristics. *Cereal Chemistry*, 83, 537-543.
- Dowell F. E., Ram M.S., Seotz L.M., 1999. Predicting scab, vomitoxin, and ergosterol in single wheat kernels using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chemistry*, 76, 573-576.
- Grabowski A., Siuda R., Lenc L., Grundas S., 2008. Ocena możliwości zastosowania pomiarów cech fizycznych ziarniaków pszenicy ozimej do wykrywania fuzariozy. *Acta Agrophysica*, 11, 393-402.
- Juodeikiene G., Kigelis V., Vidmantiene D., de Koe W.J., 2004. Acoustic screening method for the determination of deoxynivalenol (DON) in wheat. *Veterinarija ir Zootechnika*, 25, 52-59.
- Juodeikiene G., Vtiene D., Basinskiene L., E. Bartkiene, de Koe W.J., 2005. The rapid acoustic screening of deoxynivalenol (DON) in grain. *Ekologia i technika*, XII, 187-192.
- Kwok B. P., Nelson S. O., Bahar E., 1979. Time-domain measurements for determination of dielectric properties of agricultural Materials. *IEEE Trans. Instrum. Mesurem.*, 2, 109-112.
- Pettersson H., Åberg L., 2003. Near infrared spectroscopy for determination of mycotoxins in cereals, *Food Control*, 14, 229-232.
- Polder G., van der Heijden G.W.A.M., Waalwijk C. and Young I.T., 2005. Detection of Fusarium in single wheat kernels using spectral imaging. *Seed Sci. & Technol.*, 33, 655-668.
- Sharaf M. A., Illman D. L., Kowalski B. R., 1986. *Chemometrics*, John Wiley & Sons, New York.
- Siuda R., Grabowski A., Grundas S., 2006. Ocena możliwości zastosowania SKCS do wykrywania fuzariozy w ziarnie pszenicy. *Acta Agrophysica*, 8, 963-974.
- Siuda R., Hiller T., Grabowski A., 2008. Chemometrics based approach enhancing the usefulness of

time domain reflectometry in investigating properties of granular materials. *Analytical Sciences*, 24, 655-658.

Vandeginste B. G. M., Massart D. L., Buydens L. M. C., de Jong S., Lewi P. J., Smeyers-Verbeke J., 1997. *Handbook of Chemometrics and Qualimetrics: Part B*. Elsevier, Amsterdam Lausanne New York Oxford Shannon Singapore Tokyo.

PRELIMINARY RESULTS FROM APPLYING TIME-DOMAIN
REFLECTOMETRY FOR DIFFERENTIATION OF HEALTHY
AND FUSARIOSIS-DAMAGED WHEAT GRAIN

Tomasz Hiller, Ryszard Siuda, Andrzej Grabowski

Institute of Mathematics and Physics, University of Technology and Life Sciences
ul. Kaliskiego 7, 85-796, Bydgoszcz
e-mail: tomasz.hiller@utp.edu.pl

Abstract. The aim of the study was to determine the usefulness of time-domain reflectometry for differentiation of healthy and fusariosis-damaged wheat grain. Three winter wheat varieties and one spring variety were measured. TDR waveforms of healthy and damaged grain show subtle differences, however applying appropriate chemometric methods enables one to distinguish healthy and damaged grain

Key words: fusariosis, wheat, TDR, PCA, LDA