

NIENISZCZĄCY POMIAR WILGOTNOŚCI POJEDYNCZYCH NASION

Piotr Makarski

Akademia Rolnicza w Lublinie

Streszczenie: Większość stosowanych metod pomiaru wilgotności nasion w warunkach polowych i laboratoryjnych operuje wartościami uśrednionymi dla pewnej standardowej próbki. W artykule opisano system pomiarowy wyznaczający zawartość wody w pojedynczych ziarniakach oraz małych porcjach nasion bez ich uszkodzenia. Zasada jego działania opiera się na wykrywaniu zmian transmitancji falowodu pomiarowego podczas obecności w nim badanej próbki. W przypadku analizowania większych porcji materiału uzyskuje się informację na temat statystycznych parametrów rozkładu wilgotności w próbce. Zaprezentowano wyniki pomiarów otrzymane dla nasion soi o różnej wilgotności średniej.

Słowa kluczowe: pomiar wilgotności nasion, metoda mikrofalowa

WSTĘP

Wilgotność nasion jest bardzo istotnym parametrem, który w znacznej mierze decyduje o ich właściwościach i jakości. Zbyt duża wilgotność to obniżona wartość handlowa i odżywcza surowca ze względu na mniejszą zawartość suchych składników pokarmowych przypadających na jednostkę masy. Magazynowanie ziarna za bardzo wilgotnego lub mającego nadmierne różnice wilgotności pojedynczych nasion może być przyczyną pleśnienia materiału podczas przechowywania. Na przykład dla soi szczególnie podatne na atak grzybów są nasiona o wilgotności powyżej 12,5% [Eys i in. 2004]. Stan chorobowy nasion niejednokrotnie powoduje zmianę ich wilgotności. Wykrywanie takich nasion ma szczególne znaczenie, wymierne ekonomicznie w przypadku wysiewu punktowego cennych odmian roślin lub osiagających duże wymiary. Punktowy wysiew staje się opłacalny tylko wówczas, gdy dysponujemy materiałem o doskonałej jakości i zdolności kiełkowania możliwie bliskiej 100%.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Katedra Podstaw Techniki, Zakład Elektrotechniki i Systemów Pomiarowych, Akademia Rolnicza w Lublinie, Lublin ul. Doświadczalna 50A, tel. 081-461-00-61 w. 219, email rzarua1@tlen.pl

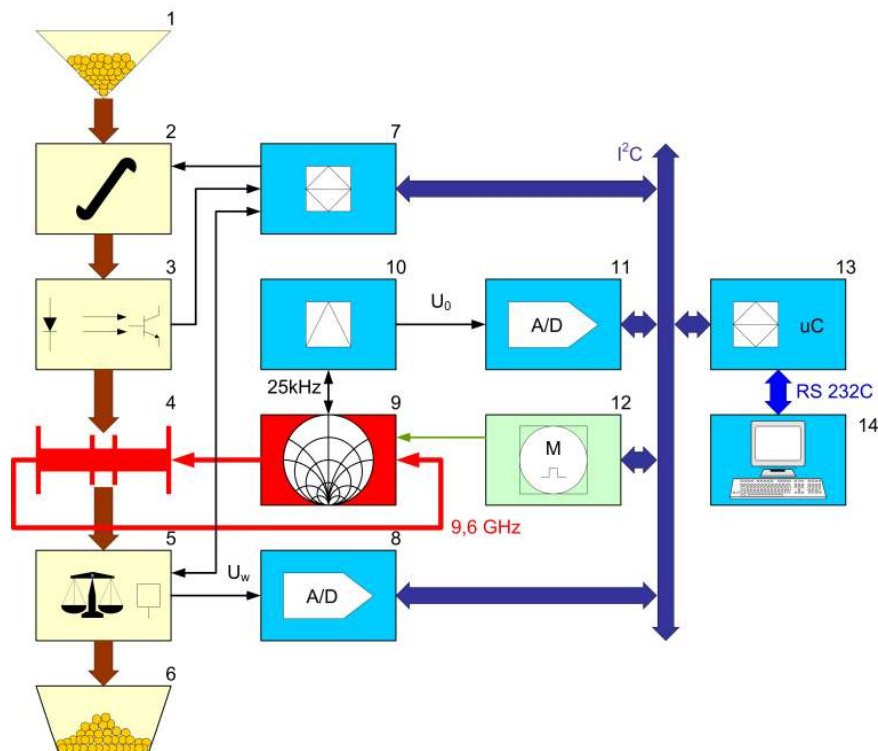
Pomiar zawartości wody stanowi często podstawowe narzędzie badawcze surowców biologicznych. Istnieje wiele sposobów określania wilgotności nasion, lecz większość z nich wymaga stosunkowo dużych próbek, a otrzymany wynik uśredniony jest dla całej próbki. Natomiast te metody, które umożliwiają pomiar wilgotności pojedynczych ziarniaków, są zazwyczaj niszczące i ograniczone głównie do warunków laboratoryjnych. Wada ta jest szczególnie istotna w przypadku badania cennych odmian roślin. Istnieje wprawdzie nieniszcząca metoda pomiaru wilgotności pojedynczych nasion oparta na zasadzie wyznaczania admitancji dla dwóch częstotliwości z zakresu radiowego [Nelson i Lawrence 1993], nie nadaje się jednak ona do pomiaru automatycznego w trybie online. Powyższych wad nie ma zaproponowana metoda nieniszczącego pomiaru wilgotności za pomocą promieniowania mikrofalowego. Pomimo iż pomiary własności materiałów dielektrycznych za pomocą promieniowania elektromagnetycznego, w tym zwłaszcza z zakresu mikrofalowego i bliskiej podczerwieni, są od lat przedmiotem zainteresowania nauki i techniki oraz technologii produkcji przemysłowej [King i in. 1992, Berbert i Stenning 1996, Lawrence i in. 1998, Nelson i in. 2000, Kress-Rogers i Brimelov 2001], to jednak badania te dotyczą pomiarów dużych próbek celem wyznaczenia uśrednionej wartości wilgotności dla całej partii surowca.

MATERIAŁ I METODY

Zaprezentowano wyniki pomiaru wilgotności nasion soi na stanowisku do pomiaru wilgotności pojedynczych drobnych obiektów metodą mikrofalową, skonstruowanym w Zakładzie Elektrotechniki i Systemów Pomiarowych Akademii Rolniczej w Lublinie. Akwizycja danych pomiarowych, ich obróbka i prezentacja, jak również sterowanie systemem dokonuje się za pośrednictwem komputera PC z zaimplementowanym programem w postaci instrumentu wirtualnego, napisanego w środowisku programowania graficznego LabView 7.1.

Stanowisko badawcze. System pomiarowy został zrealizowany jako mikrofalowy miernik wilgotności sterowany komputerem PC. Przetwornikiem wilgotności na sygnał pomiarowy jest fabryczny mikrofalowy mostek homodynamiczny będący częścią mikrofalowego miernika wilgotności materiałów sypkich firmy Wilmer. Komora zasypowa, będąca jednocześnie przewodniczą falową, została zastąpiona kołowym falowodem pomiarowym, w którym wykonano na obwodzie dwa współosiowe otwory umożliwiające przelot próbki wzdłuż średnicy falowodu. Sygnał rozstrojenia mostka mikrofalowego, gdy wewnątrz przewodnicy falowej znajduje się pojedyncze nasienie o średnicy kilku milimetrów, jest o kilka rzędów wielkości mniejszy niż w przypadku, jeśli cały odcinek falowodu pomiarowego wypełniony jest badanym materiałem. Wymagało to zaprojektowania i wykonania specjalnego układu generatora i detektora sygnału modulującego oraz zespołu serwo mechanizmu równoważenia mostka. Całość systemu jest sterowana przez mikrokontroler 8-bitowy, zapewniający jednocześnie komunikację z komputerem PC.

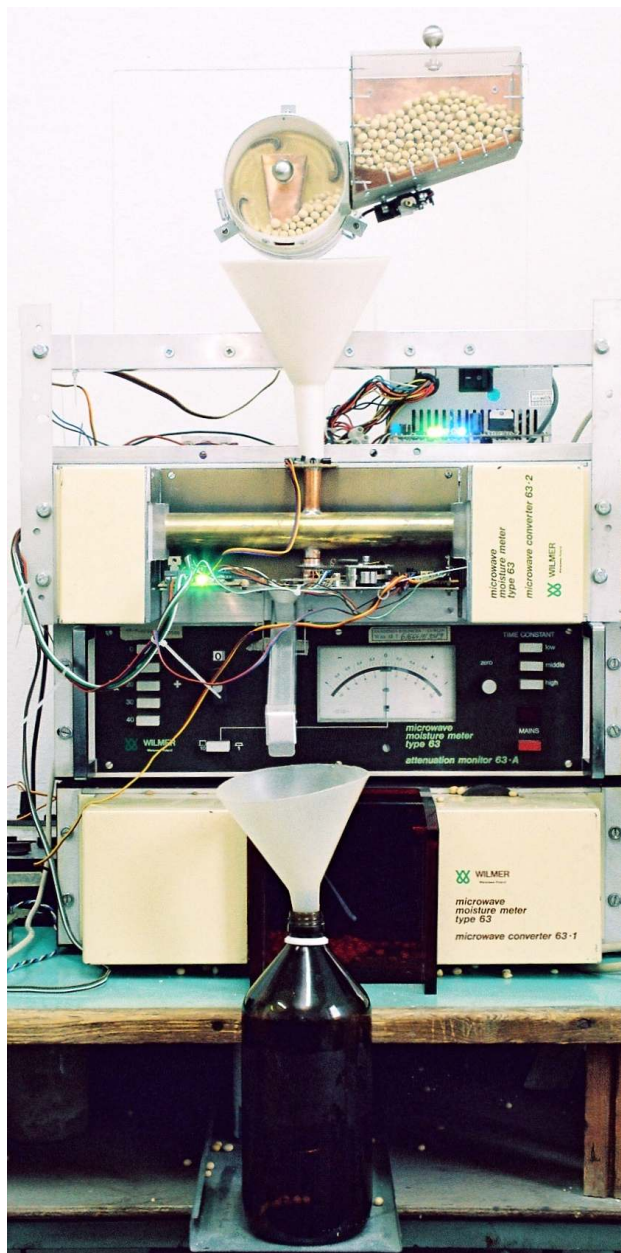
Schemat blokowy systemu pomiarowego przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu do pomiaru wilgotności pojedynczych nasion: 1 – zasobnik, 2 – podajnik, 3 – czujnik przelotu, 4 – falowód pomiarowy, 5 – waga z ewakuatorem, 6 – zbiornik wylotowy, 7 – sterownik, 8 – przetwornik analogowo-cyfrowy, 9 – mikrofalowy mostek homodynowy, 10 – modulator i detektor m.cz., 11 – przetwornik analogowo-cyfrowy, 12 – serwomechanizm korektora fazy, 13 – sterownik mikroprocesorowy, 14 – komputer PC

Fig. 1. The block diagram of the system for the single grain humidity detection: 1 – container, 2 – feeder, 3 – passing sensor, 4 – measuring guide wave, 5 – balance, 6 – output container, 7 – controller, 8 – analog to digital converter, 9 – microwave homodyne bridge, 10 – LF modulator and detector, 11 – analog to digital converter, 12 – phase tuning servomechanism, 13 – CPU controller, 14 – PC

Pojedyncze ziarna ze zbiornika (1) pobierane są przez czepak podajnika obrotowego i wrzucane do komory przelotu, gdzie próbka spada swobodnie, mijając po kolei fotoelektryczny detektor przelotu (3), falowód pomiarowy (4), by trafić na wagę z systemem ewakuacji (5), skąd po zważeniu wyrzucana jest do zbiornika wylotowego (6). Sygnał z detektora przelotu odczytany przez sterownik (7) powoduje zatrzymanie podajnika. Przemieszczająca się przez falowód pomiarowy, prostopadle do jego osi próbka zmienia jego transmitancję i refleksję, co prowadzi do rozstrojenia mostka mikrofalowego (9). Sygnał nierównowagi mostka po zdemodulowaniu w układzie modulacji



Rys. 2. Widok wykonanego stanowiska pomiarowego
Fig. 2. The view of measuring equipment

i detekcji (10) zostaje przetworzony na postać cyfrową w układzie 8-bitowego szczytowego przetwornika A/C (11). Dodatkową funkcją układu modulacji i detekcji jest modulacja amplitudowa fali nośnej sygnału pomiarowego. Sygnał analogowy z wagi podczas pobytu na niej próbki zamieniany jest na postać cyfrową przez 12-bitowy przetwornik A/C (8). Po zważeniu próbka jest ewakuowana przez specjalne ramię do zbiornika wylotowego (6). Dostrajanie mostka mikrofalowego do stanu równowagi, przed rozpoczęciem pomiaru realizowane jest przez serwo mechanizm zbudowany z wykorzystaniem silnika krokowego i specjalnego sterownika (12). Sterownik mikroprocesorowy (13) komunikujący się z poszczególnymi układami za pomocą magistrali I²C zapewnia synchronizowanie pracy poszczególnych bloków i odczyt wyników pomiarów z przetworników. Jest on również węzłem komunikacyjnym z komputerem PC (14) po łączu RS 232C. Oprogramowanie komputera PC pełni rolę zarówno wirtualnego instrumentu pomiarowego zbierającego dane, jak i sterującego pracą miernika wilgotności.

Na rysunku 2 od góry widoczny jest zasobnik i podajnik próbek, poniżej tor mikrofalowy wraz z poziomym falowodem pomiarowym oraz systemem ważenia i ewakuacji próbek. Poniżej znajduje się fabryczny mikrofalowy przyrząd do pomiaru wilgotności średniej materiałów sypkich oparty na identycznym mostku mikrofalowym. Na pierwszym planie widoczny jest zbiornik wylotowy.

Metody badań. Do badań przygotowano partie surowca o różnej wilgotności, każda o masie ok. 300 g. Materiał o wilgotności mniejszej niż otaczającego powietrza osiągnięto przez suszenie w piecu laboratoryjnym z regulacją temperatury. Po wyjęciu z pieca próbki od razu były umieszczane w hermetycznych słoikach. Materiał o wilgotności większej od równowagowej przygotowano przez dolewanie kontrolowanej objętości wody destylowanej do próbek uprzednio umieszczonych w słoikach. Po ich szczelnym zamknięciu próbki były przez kilka minut intensywnie wstrząsane. Celem wyrównania rozkładu wilgotności przechowywano je przez tydzień, kilka razy dziennie nimi wstrząsając, z tym że materiał wilgotny trzymano w warunkach chłodniczych (ok. 10°C) dla uniknięcia pleśnienia.

Tak sporządzone próbki poddawano badaniu na zawartość wody na skonstruowanym stanowisku. Pomiar prowadzono w temperaturze $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Wykonano dwie serie pomiarów. Pierwsza polegała na umieszczeniu ok. 300 g (ok. 1000 ziarniaków soi) próbki w zasobniku systemu i wyznaczaniu wilgotności dla każdego pojedynczego nasienia. Pomiar odbywał się w sposób automatyczny, a ich wyniki zapisywane były na twardym dysku komputera w postaci uporządkowanego pliku tekstowego. Druga seria pomiarów polegała na wielokrotnym (ok. 100 razy) przepuszczaniu tego samego nasienia przez system pomiarowy z jednoczesną komputerową rejestracją wyników. Dzięki uśrednieniu otrzymanych danych osiągnięto dużą dokładność określenia wilgotności pojedynczego ziarniaka. W celu możliwości weryfikacji poprawności otrzymanych wyników, przed każdym napełnieniem zasobnika badanym materiałem wyznaczano jego wilgotność średnią metodą referencyjną, termogravimetryczną. Dokonywano tego w ten sposób, że po dokładnym wymieszaniu próbki pobierano z niej porcję ok 10 g do tygielka, ważono na wadze analitycznej wytarowanej wraz z tygielkiem z dokładnością do $\pm 0,1$ mg. Następnie próbkę poddawano suszeniu w temperaturze 103°C przez 16 h (zgodnie z normą AOAC nr 945.15). Po wysuszeniu natychmiast przenoszono ją wraz z tygielkiem do desykatora, z którego od razu odpompowywano powietrze.

Po ok. 10 min, gdy próbka ostygła, powtórnie ważono ją wraz z tygielkiem. Na podstawie ubytku masy wyznaczano wilgotność względną materiału wg formuły:

$$W = \frac{m_w}{m_w + m_s} \cdot 100\%$$

gdzie: W , % – wilgotność względna materiału,
 m_w , kg – masa wody zawartej w materiale,
 m_s , kg – sucha masa materiału.

Po przeprowadzeniu całej próbki przez system pomiarowy powtórnie wyznaczano jej wilgotność średnią wg powyższej procedury. Średnią arytmetyczną z obydwu wyników przyjmowano jako wartość poprawną wilgotności średniej badanej próbki. Określenie wilgotności pojedynczych ziarniaków badanych w drugiej serii pomiarów odbywało się również wg powyższej procedury, z tym że próbka składała się tylko z pojedynczego ziarniaka poddanego badaniu na prezentowanym stanowisku.

WYNIKI I ICH ANALIZA

Tabela 1 prezentuje otrzymane parametry statystyczne rozkładu wilgotności w próbkach nasion soi. Na uwagę zasługuje fakt, że różnice pomiędzy wilgotnością średnią ważoną W_w (czyli wilgotnością średnią całej próbki), a wilgotnością zmierzona metodą referencyjną W_r , nie przekraczają 1% (kolumny 4 i 7 w tabeli 1).

Tabela 1. Statystyczne parametry rozkładu wilgotności próbek nasion soi
 Table 1. Statistic parameters of the soybean humidity distribution

Nr próbki No. of sample	N	m_s g	W_r %	W_{min} %	W_{max} %	W_w %	σ_w %
1	1312	301,0	7,2	0,8	17,8	7,5	2,85
2	1334	311,9	9,6	1,0	24,8	10,6	3,29
3	1113	272,3	12,0	4,2	28,3	11,5	3,19
4	1574	400,2	16,3	4,8	30,0	16,7	3,57
5	1234	321,1	18,2	2,0	28,1	17,9	3,26
6	1299	352,3	20,5	0,6	29,9	19,7	3,37

Oznaczenia: N – ilość nasion w próbce, m_s – masa całkowita próbki, W_r – wilgotność zmierzona metodą referencyjną, W_{min} – minimalna zarejestrowana wilgotność, W_{max} – maksymalna zarejestrowana wilgotność, W_w – wilgotność średnia ważona wyznaczona metodą mikrofalową, σ_w – odchylenie standardowe wilgotności.

W tabeli 2 widoczne są wyniki wielokrotnego pomiaru wilgotności tego samego nasienia w ujęciu statystycznym. Mimo niezbyt dużej precyzji pojedynczego pomiaru (spore odchylenia standardowe i różnice między otrzymanymi wartościami ekstremalnymi), wielokrotny uśredniony pomiar daje wynik bliski metodzie referencyjnej.

Tabela 1. Wyniki wielokrotnego pomiaru wilgotności pojedynczego ziarniaka soi
Table 2. Results for the single soybean humidity multiple detection

Nr ziarniaka No. of grain	N	m g	W_r %	W_{\min} %	W_{\max} %	W_w %	σ_w %
1	110	0,3032	10,3	6,2	20,2	11,5	2,76
2	105	0,3003	12,4	9,3	21,3	14,9	2,77

Uzyskano więc dużą dokładność zaproponowaną metodą pomiarową, zwłaszcza jeżeli weźmie się pod uwagę, że jest to metoda pośrednia pomiaru wilgotności. Zawyżone odchylenia standardowe spowodowane są niedoskonałościami natury konstrukcyjnej zbudowanego stanowiska. Ich zmniejszenie jest etapem dalszych badań, aby można uzyskać zadowalającą dokładność także dla pojedynczego pomiaru.

WNIOSKI

Zaproponowana metoda wyznaczania wilgotności nasion umożliwia dokładny, automatyczny i nieniszczący pomiar wartości średniej tego parametru nawet dla stosunkowo niewielkich próbek (tab. 1). Dokładne określenie zawartości wody w pojedynczym ziarniaku uzyskuje się przez wielokrotne przepuszczenie go przez system pomiarowy i uśrednienie wyników pomiarów (tab. 2). W porównaniu do innych metod posiada tę cenną zaletę, iż umożliwia nieniszczący pomiar wilgotności pojedynczych ziarniaków, a w przypadku badania większych porcji materiału podaje informację na temat statystycznych parametrów rozkładu wilgotności w próbce. Dzięki temu istnieje możliwość dokładniejszego określenia jakości surowca, gdyż w przypadku nasion nie tylko wilgotność średnia, ale również równomierność jej rozkładu decyduje o jakości partii materiału.

PIŚMIENNICTWO

- Berbert P. A., Stenning B. C., 1996. On-line moisture content measurement of wheat. Departamento de Engenharia Agricola, Universidade Federal de Vicosa, 36571-000 Vicosa MG, Brazil, 287–296.
- Eys J.E., Offner A., Bach A., 2004. Metody analityczne oceny jakości surowców sojowych w przemyśle paszowym. Podręcznik dla praktyków. ASA International Marketing, 32–33.
- King R. J., King K. V., Woo K., 1992. Microwave moisture measurement of grains. IEEE Trans. Instrument. Measure. 41, 1, 111–115.
- Kress-Rogers E., Brimelov Ch. J. B., 2001, Instrumentation and sensors for the food industry. Woodhead publishing limited. Cambridge, 213–228, 233–273.

- Lawrence K. C., Windham W. R., Nelson S. O., 1998. Wheat moisture determination by 1 - to 110-MHz Swept-frequency Admittance Measurements. *Am. Soc. Agric. Eng.* 41(1), 135–142.
- Nelson S. O., Lawrence K. C., 1993. Nondestructive single-seed moisture determination in soybeans by RF impedance measurements. 36(6), 1855–1859.
- Nelson S.O., Kraszewski A. W., Trabelsi S., Lawrence K. C., 2000. Using cereal grain permittivity for sensing moisture content. *IEEE Tran. Instrument. Measure.* 49, 3, 470–474.

NON DESTRUCTIVE METHOD OF THE SINGLE GRAIN HUMIDITY DETERMINATION

Abstract. Most of the humidity measurement methods that are used in practice both in a field working and in a laboratory analysis usually manipulate average values for a specific standard sample. In this article the measurement system for determining the amount of water in a single grain and in small samples of grains without its destruction is presented. It works on the basis of the wave guide transmittation changes detection when the tested sample is present in it. In the case of a bigger samples analysis the information about statistic parameters of the humidity distribution in a sample is received. The results received for soya bean with a different humidity are presented below.

Key words. grains humidity measurement, microwave detection

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 23.05.2006