

## ELEKTRYCZNY MODEL POJEDYNCZEJ WARSTWY ZIARNA ZBÓŻ

**Deta Łuczicka**

Instytut Mechanizacji Rolnictwa  
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

**Synopsis:** W oparciu o wyniki badań laboratoryjnych zaproponowano pięć modeli elektrycznych pojedynczej warstwy ziarna pszenżyta. Podane wartości elementów modelu pozwalają na analizę zależności między przenikalnością dielektryczną i współczynnikiem stratności a wilgotnością materiału, w szerokim zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego.

**Słowa kluczowe:** właściwości elektryczne, ziarno zbóż, model elektryczny warstwy ziarna.

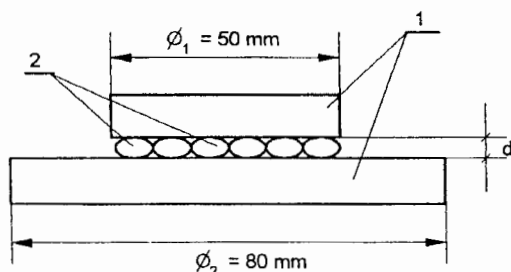
### Wstęp

Konstruowanie coraz dokładniejszych mierników wilgotności i jakości zboża oraz projektowanie urządzeń do elektroobróbki ziarna (suszenie dielektryczne, dezynsekcja, czyszczenie elektrostatyczne i elektrostymulacja ziarna) możliwe jest w oparciu o analizę modeli elektrycznych ziarna. Model taki powinien odwzorowywać zależności między cechami fizycznymi masy ziarna o określonej geometrii a jej właściwościami elektrycznymi. Weryfikuje się on w analizowanym zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego. Podstawą do określenia wartości elementów schematu zastępczego warstwy ziarna są badania laboratoryjne przenikalności dielektrycznej  $\epsilon$  i współczynnika stratności  $\tan \delta$ . Wielkości te zależą od wilgotności i temperatury materiału i zmieniają się w funkcji częstotliwości pola elektromagnetycznego. W literaturze spotyka się przykłady schematów zastępczych masy ziarna [Dąbrowski i in. 1981; Borodin, 1971] ale nie są podawane wartości rezystancji i pojemności elementów modelu.

## Metodyka badań

Mierzono przenikalność dielektryczną  $\epsilon$  i współczynnik stratności  $\text{tg } \delta$  w funkcji wilgotności zboża w temperaturze 20° C. Pomiary przeprowadzono dla ziarna pszenżyta sztucznie nawilżanego w zakresie wilgotności od 10 do 28%.

Wszystkie pomiary dokonano za pomocą układu pomiarowego o regulowanej częstotliwości pola elektromagnetycznego w zakresie od 0,1 do 20 MHz. Każdy pomiar powtarzano pięciokrotnie, określając właściwości ziarna w pojedynczej warstwie. Układ elektrod przedstawiono na rysunku 1. Wilgotność materiału badawczego ustalano stosując metodę suszarkową.



Rys.1 Układ elektrod do pomiaru cech elektrycznych ziarna w pojedynczej warstwie; 1 - elektrody pomiarowe, 2 - ziarna zbóż.

Fig. 1 A system of electrodes for measuring electric features: 1 - measuring electrodes, 2 - corn grain

## Wyniki pomiarów

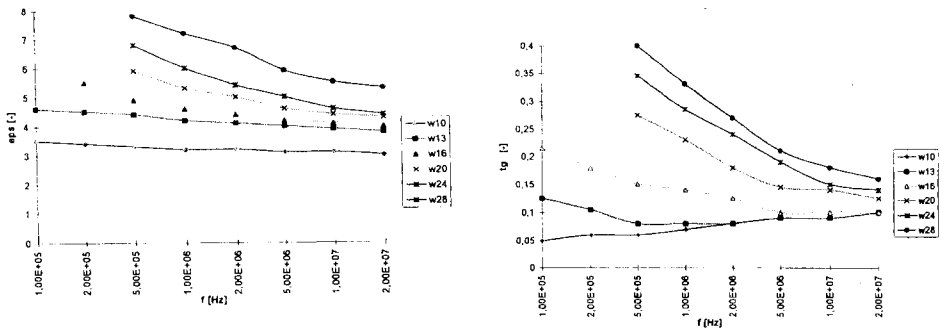
W wyniku pomiarów uzyskano zależności przenikalności dielektrycznej  $\epsilon$  (rysunek 2a) oraz współczynnika stratności  $\text{tg } \delta$  (rysunek 2b) pojedynczej warstwy ziarna, od częstotliwości pola elektromagnetycznego, dla różnych wilgotności.

Przenikalność dielektryczna maleje w funkcji częstotliwości pola elektromagnetycznego, a rośnie w funkcji wilgotności. Dla pojedynczej warstwy ziarna pszenżyta przenikalność dielektryczna  $\epsilon$ , w badanym zakresie parametrów wejściowych, zawierała się w zakresie od 3 do 8. Charakter zmian współczynnika stratności  $\text{tg } \delta$  w funkcji częstotliwości  $f$  zmienia się w zależności od wilgotności materiału. Współczynnik stratności rośnie w funkcji wilgotności. Obserwowane wartości  $\text{tg } \delta$  zawierają się w zakresie od 0,05 do 0,4.

## Modele elektryczne

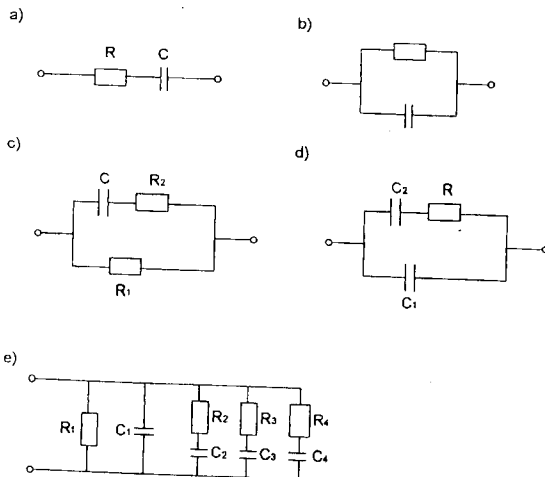
Stworzenie modelu elektrycznego warstwy ziarna zboża sprowadza się do przedstawienia tego niejednorodnego dielektryka przy pomocy obwodu równoważnego o stałych skupionych. Jak dobrze określony dwójnik odwzo-

rowuje zachowanie rzeczywistego dielektryka można określić na podstawie porównania obliczonej charakterystyki częstotliwościowej układu z obserwowaną reakcją częstotliwościową warstwy zboża. Najprostszymi układami równoważnymi są układy pojemnościowe zawierający idealny kondensator  $C$  oraz połączony szeregowo lub równoległe z nim opornik  $R$  (rysunek 3a i 3b). Ich zaletą jest łatwość określenia parametrów układu, oraz dokonywania obliczeń modelowych, wadą mała dokładność.



Rys. 2. Zależności właściwości dielektrycznych pojedynczej warstwy pszenżyta od częstotliwości pola elektromagnetycznego dla różnych wilgotności: a - przenikalność dielektryczna, b - współczynnik stratności

Fig. 2. Dependence of dielectric properties of single layer of wheat-rye grain on electromagnetic frequency for each humidity: a - permittivity, b - loss coefficient



Rys.3 Obwody równoważne o stałych skupionych dla pojedynczej warstwy ziarna

Fig.3 Electrical models of single lawyer of corn grain

W badanym zakresie zmienności właściwości fizycznych warstwy ziarna współczynnik korelacji między funkcjami modelowymi a wynikami pomiarów laboratoryjnych mieścił się w zakresie 0,4 - 0,7.

Oprócz tych dwóch modeli analizowano również obwód równoważny realizujący charakterystyki częstotliwościowe wody (rysunek 3c), dwójnik reprezentujący widmo relaksacyjne dla dielektryka polarnego (rysunek 3d) oraz najbardziej skomplikowany model (rysunek 3e) uznany przez Borodina za najlepszy [Borodin, 1971].

W tabeli 1 przedstawiono równoważne wartości przenikalności dielektrycznej  $\epsilon$  i współczynnika stratności  $\text{tg } \delta$  dla kolejnych modeli. Najlepsze wyniki uzyskano stosując modele przedstawione na rysunkach 3d i 3e. Różnice w jakości dopasowania charakterystyk częstotliwościowych, dla obu dwójników, w analizowanym przedziale częstotliwości, okazały się być nieznaczące. Model "c" jest skomplikowany i na podstawie najczęściej stosowanych pomiarów cech elektrycznych warstwy ziarna niemożliwe jest określenie wartości elementów R i C dwójnika. Znacznie ogranicza to możliwość praktycznego wykorzystania tego typu modelu. Najlepszym wobec tego pozostaje model relaksacyjny dielektryka polarnego "d". Wykonano dla niego obliczenia wartości R,  $C_1$  i  $C_2$  dla różnych wilgotności ziarna. Wyniki przedstawiono w tabeli 2. Przenikalność dielektryczna, dla dowolnej wilgotności ziarna maleje w funkcji częstotliwości, zaś współczynnik stratności maleje dla wilgotności powyżej 15%, dla mniejszych wilgotności  $\text{tg } \delta$  jest rosnącą funkcją częstotliwości pola elektromagnetycznego. Pojemność geometryczna kondensatora  $C_0$  jest równa 9pF.

Tabela 1

Równoważne wartości względnej przenikalności dielektrycznej i współczynnika stratności dla modeli przedstawionych na rysunku 3 a-d

Table 1

Equivalent of permittivity  $\epsilon$  and loss coefficient  $\text{tg } \delta$  for each models

Model Model	$\epsilon/\epsilon_0$	$\text{tg } \delta$
a	$\frac{C_1}{C_0(1+(\omega RC_1)^2)}$	$\omega R C_1$
b	$\frac{C_1}{C_0}$	$\frac{1}{\omega RC_1}$
c	$\frac{1}{\omega R_1 C_0} + \frac{C_1}{C_0} \frac{R_2 C \omega}{1+(\omega R_2 C)^2}$	$\frac{\omega R_1 C}{1+(1+R_1/R_2)(\omega R_2 C)^2}$
d	$\frac{C_1}{C_0} + \frac{C_2}{C_0(1+(\omega RC_2)^2)}$	$\frac{\omega RC_2}{1+C_1/C_2(1+(\omega R C_2)^2)}$

Tabela 2  
Wartości elementów biernych R, C<sub>1</sub> i C<sub>2</sub> w modelu d, dla różnych wilgotności ziarna

Table 2

Values of model's element for each humidity

Wilgotność Humidity	R	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
[%]	MΩ	nF	nF
10	7,142	0,027	0,002
13	1,111	0,034	0,056
16	0,385	0,036	0,194
20	0,119	0,037	0,483
24	0,041	0,038	1,262
28	0,011	0,046	5,154

Na podstawie analizy uzyskanych wartości R, C<sub>1</sub> i C<sub>2</sub> w funkcji wilgotności w otrzymano zależności:

$$R = -0,06 + 22,93 / (1 + ((w - 8,43) / 1,06)^2), \quad r^2 = 0,99$$

$$C_1 = -0,01 + 0,5 / (1 + ((w - 8469,32) / (-0,38))^2), \quad r^2 = 0,87$$

$$C_2 = -0,2 + 184,22 / (1 + ((w - 32,31) / 0,75)^2), \quad r^2 = 0,99$$

Pozwalają one na wyznaczenie modelu elektrycznego pojedynczej warstwy ziarna pszenżyta dla dowolnej wilgotności w zakresie od 10 do 28% dobrze weryfikującego się w zakresie częstotliwości pola elektromagnetycznego od 0,1 do 20 MHz.

## Wnioski

1. Najlepiej weryfikującym się modelem elektrycznym pojedynczej warstwy ziarna pszenżyta jest dwójnik reprezentujący widmo relaksacyjne dielektryka polarnego (rysunek 4d). Współczynnik korelacji jaki uzyskano w badanym zakresie częstotliwości wynosił 0,85 - 0,98.

2. Przenikalność dielektryczna pojedynczej warstwy ziarna pszenżyta, dla dowolnej wilgotności maleje w funkcji częstotliwości pola elektromagnetycznego.

3. Współczynnik stratności pojedynczej warstwy ziarna pszenżyta maleje dla wilgotności powyżej 15%, a rośnie dla mniejszych wilgotności ziarna, w funkcji częstotliwości pola elektromagnetycznego.

## Bibliografia

- Borodin, I. 1971. Wybor elektriceskoj schiemy modelirowania zernowoj massy. *Miech. i Elektr. Socj. Choz.* Nr 1, s.42-44.
- Dąbrowski, S., J. Grochowicz, W. Pietrzyk. 1981. Elektryczne właściwości nasion i ich praktyczne wykorzystanie. *Probl. Agrofizyki*, 35, Lublin.
- Hippel A. 1983. *Dielektryki i fale*. PWN, Warszawa.
- Łuczycka, D. 1994. Metodyczne aspekty pomiarów cech elektrycznych ziarna zbóż. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, z.416.
- Sitkei G. 1986. *Mechanics of Agricultural Materials*. Akademiai Kiado, Budapest, s.41-47.

D. Łuczycka

## ELECTRICAL MODEL OF SINGLE LAYER OF CORN GRAIN

### Summary

Laboratory investigations of permittivity and loss angle of a single layer of grain allowed us to evaluate the suitability of its existing electric models. As the result of analysis, a relatively simple (easy to use) model was selected. It permitted us to obtain the relationship between permittivity and loss coefficient versus material moisture, in a wide range of the electromagnetic field frequency. The calculated parameters of model elements allow for receiving substitutional two-terminal network for a single layer of triticale in the humidity range from 10% to 28% for the frequency of electromagnetic field from 0.1 to 20 MHz.