

*Katarzyna Majewska, Ryszard Żywica\*, Joanna Wójcik\*, Ireneusz Białobrzewski\*\**  
*Katedra Przetwórstwa i Chemii Surowców Roślinnych*  
*\*Katedra Podstaw Techniki, Technologii i Gospodarki Energią*  
*\*\*Katedra Inżynierii Procesów Rolniczych*  
*Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

## **Właściwości przewodnościowe ziarna pszenicy**

### **Streszczenie:**

W pracy podjęto badania, których celem było określenie właściwości przewodnościowych ziarna pszenicy w zależności od odmiany, wilgotności, wielkości ziarniaków oraz stosowanej częstotliwości prądu. Materiałem badawczym było ziarno czterech odmian pszenicy ozimej: Korweta, Juma, Mikon i Kobra. Ziarno sortowano na trzy frakcje: > 2,8 mm, 2,5-2,8 mm i 2,2-2,5 mm. Właściwości przewodnościowe niesortowanego ziarna (próba kontrolna) oraz jego trzech frakcji, o wilgotności 11% i 15%, badano używając miernika HP 4263B. Stosowano napięcie sinusoidalne 250 mV i cztery częstotliwości prądu: 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz i 100 kHz. Wykonano pomiary impedancji, rezystancji, admitancji i konduktancji ziarna. Otrzymane wyniki badań poddano analizie statystycznej korzystając z programu STATISTICA™. Zmiany właściwości przewodnościowych ziarna zależały istotnie ( $p \leq 0,05$ ) od wszystkich badanych czynników, tj.: odmiany, wilgotności, wielkości ziarniaków oraz stosowanej częstotliwości prądu.

**Słowa kluczowe:** pszenica, odmiany ozime, wielkość ziarniaków, właściwości przewodnościowe ziarna

### **Oznaczenia**

Z – impedancja [M $\Omega$ ],  
R – rezystancja [M $\Omega$ ],  
Y – admitancja [ $\mu$ S],  
G – konduktancja [ $\mu$ S].

### **Wstęp**

Dzięki swojej strukturze komórkowej i składowi chemicznemu ziarno zbóż wykazuje zarówno właściwości przewodników prądu elektrycznego jak i dielektryków [Dąbrowski i in. 1981, Jankowski 1988, Jankowski 1989, Łuczycza 1995]. Jego zdolność do przewodzenia prądu elektrycznego wynika ze szczególnych cech roztworu komórkowego ziarniaków (właściwości elektrolitu), w którym woda jest rozpuszczalnikiem niektórych składników chemicznych a zarazem ośrodkiem wędrówki jonów [Jankowski 1988]. Międzykomórkowe elementy strukturalne tkanki oraz niektóre składniki komórek są półprzewodnikami, ale także wykazują cechy dielektryków. Również woda zawarta w tkance ziarniaków wykazuje właściwości dielektryczne. Ziarna zbóż z punktu widzenia fizyki dielektryków należą do grupy dielektryków o słabej polaryzowalności (dielektryków niejednorodnych) Czynnikiem decydującym o zachowaniu się ziarna w polu elektrycznym jest

wielkość zgromadzonego w nim ładunku elektrycznego [Dąbrowski i in. 1981]. Jeżeli masa ziarna będzie poddawana polaryzacji w jednakowych warunkach, to ładunek elektryczny zgromadzony przez poszczególne ziarniaki będzie ściśle zależał od ich cech geometrycznych, morfologii, składu chemicznego i wilgotności. Wraz ze wzrostem wilgotności ziarna jego przewodność elektryczna zwiększa się na skutek zmian jakim ulega woda zawarta w ziarnie reagując z jego składnikami oraz zmian jakim ulegają te składniki na skutek hydratacji. Przewodność elektryczna wykazuje większą niż przenikalność dielektryczna zależność od jakości ziarna [Jankowski 1989].

## **Cel badań**

Celem badań było określenie właściwości przewodnościowych ziarna pszenicy ozimej w zależności od odmiany, wilgotności, wielkości ziarniaków oraz stosowanej częstotliwości prądu.

## **Materiał i metody badań**

Materiałem badań było ziarno czterech odmian pszenicy ozimej: Korweta, Juma, Mikon i Kobra, pochodzące z produkcji towarowej (zbiory z 2001 roku). Ziarno sortowano mechanicznie za pomocą sit Vogla na trzy frakcje (klasy wymiarowe): > 2,8 mm, 2,5÷2,8 mm i 2,2÷2,5 mm.

Właściwości przewodnościowe niesortowanego ziarna (próba kontrolna) oraz jego trzech frakcji (o wilgotności  $11 \pm 0,5\%$  i  $15 \pm 0,5\%$ ) badano używając miernika Hewlett Packard 4263B. Stosowano napięcie sinusoidalne 250 mV i cztery częstotliwości prądu: 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz i 100 kHz. Próby ziarna o objętości  $150 \text{ cm}^3$  umieszczano w szklanych zbiornikach o wymiarach 80 x 45 x 60 mm. Elektrody płytowe ze stali kwasoodpornej były zamontowane przylegająco do dwóch przeciwległych ścian zbiornika (ściany o mniejszej powierzchni). Zbiorniki z próbkami ziarna umieszczano w komorze klimatyzacyjnej (Memmert) w celu uzyskania temperatury  $20 \pm 0,1^\circ\text{C}$ . Po osiągnięciu przez badane ziarno wymaganej temperatury wykonywano pomiary jego impedancji (Z), rezystancji (R), admitancji (Y) i konduktancji (G). Pomiary wykonywano w sześciu powtórzeniach według wcześniej opracowanego modelu elektrycznego [Pierzynowska-Korniak i in. 2003]. Wyniki badań poddano analizie statystycznej używając programu STATISTICA™ 6.1. W celu określenia istotności różnic między wartościami średnimi badanych parametrów zastosowano metodę analizy wariancji (test Duncana).

## **Wyniki badań i ich analiza**

Zmiany właściwości przewodnościowych ziarna badanych odmian pszenicy zostały przedstawione w tabelach 1 - 4.

Wraz ze zwiększaniem się częstotliwości pomiarowej od 100 Hz do 100 kHz malała impedancja Z i rezystancja R ziarna oraz wzrastała jego admitancja Y i konduktancja G. Takie tendencje zmian badanych cech elektrycznych występowały zarówno w przypadku ziarna o wilgotności 11% jak i 15%.

Jednocześnie wraz ze wzrostem wilgotności ziarna od 11% do 15% również malała jego impedancja  $Z$  i rezystancja  $R$  (za wyjątkiem wyników pomiaru rezystancji uzyskanych przy częstotliwości pomiarowej 10 kHz i 100 kHz – prawdopodobnie na skutek wystąpienia bariery polaryzacyjnej) oraz wzrastała jego admitancja  $Y$  i konduktancja  $G$  w zakresie wszystkich stosowanych częstotliwości prądu. Zmiany te spowodowane były przechodzeniem ziarniaków o większej wilgotności w stan półprzewodników [Dąbrowski i in. 1981].

Zarówno w przypadku ziarna o wilgotności 11% jak i 15%, odmiana Juma różniła się od pozostałych badanych odmian pszenicy istotnie mniejszą impedancją  $Z$  przy częstotliwości pomiarowej 100 Hz. Ponadto, przy częstotliwości pomiarowej 100 Hz i 1 kHz, ziarno odmiany Juma o wilgotności 15% charakteryzowało się istotnie większą admitancją  $Y$  i konduktancją  $G$  od ziarna pozostałych odmian pszenicy o tym samym poziomie wilgotności. Przyczyną nieco innych cech elektrycznych ziarna odmiany Juma, mierzonych tymi parametrami, mogła być aktywność  $\alpha$ -amylazy w tym ziarnie (liczba opadania 177s), istotnie wyższa niż w ziarnie pozostałych odmian pszenicy (liczba opadania w zakresie 317-421s). Istotne i jednoznaczne zmiany właściwości przewodnościowych ziarniaków pszenicy związane z ich wielkością wystąpiły w przypadku ziarna o wilgotności 15%. Sortowanie ziarna na frakcje spowodowało w większości przypadków istotne zmiany badanych cech elektrycznych w porównaniu z wynikami uzyskanymi dla prób kontrolnych. Wraz ze zmniejszaniem się wymiarów ziarniaków wszystkich badanych odmian pszenicy wzrastała ich impedancja  $Z$  oraz zmniejszała się ich admitancja  $Y$  i konduktancja  $G$ .

## **Wnioski**

Zmiany właściwości przewodnościowych badanego ziarna pszenicy zależą istotnie przede wszystkim od stosowanej częstotliwości prądu i wilgotności ziarna, a następnie od wielkości ziarniaków i odmiany pszenicy.

Wraz ze zwiększaniem się częstotliwości prądu od 100 Hz do 100 kHz i wzrostem wilgotności ziarna od 11% do 15% maleje impedancja  $Z$  i rezystancja  $R$  ziarna, natomiast wzrasta jego admitancja  $Y$  i konduktancja  $G$ . Przy poziomie wilgotności 15%, wraz ze zmniejszaniem się wymiarów ziarniaków wszystkich badanych odmian pszenicy wzrasta impedancja  $Z$  oraz maleje admitancja  $Y$  i konduktancja  $G$  ziarna.

Tabela 1. Zmiany właściwości przewodnościowych ziarniaków pszenicy w zależności od odmiany, frakcji ziarna i jego wilgotności \*.

Table 1. Changes in conductive properties of wheat kernels as affected by variety, grain fraction and its moisture\*

Odmiana pszenicy/ frakcja ziarna	Częstotliwość prądu: f = 100 Hz							
	impedancja Z (MΩ)		rezystancja R (MΩ)		admitancja Y (μS)		konduktancja G (μS)	
	wilgotność ziarna				wilgotność ziarna			
	11%	15%	11%	15%	11%	15%	11%	15%
Korweta pr kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2,8 mm 2,2÷2,5 mm	182,7 <sup>cd</sup>	50,5 <sup>bd</sup>	42,9	21,6 <sup>cd</sup>	0,005 <sup>cd</sup>	0,020 <sup>bd</sup>	0,001 <sup>d</sup>	0,009 <sup>bd</sup>
	186,2 <sup>cd</sup>	44,7 <sup>acd</sup>	42,4	21,6 <sup>cd</sup>	0,005 <sup>cd</sup>	0,023 <sup>acd</sup>	0,001 <sup>d</sup>	0,013 <sup>acd</sup>
	167,7 <sup>abd</sup>	50,5 <sup>bd</sup>	40,1	22,5 <sup>abd</sup>	0,006 <sup>abd</sup>	0,020 <sup>bd</sup>	0,001	0,010 <sup>bd</sup>
	150,8 <sup>abc</sup>	61,3 <sup>abc</sup>	37,9	18,9 <sup>abc</sup>	0,007 <sup>abc</sup>	0,017 <sup>abc</sup>	0,002 <sup>ab</sup>	0,006 <sup>abc</sup>
Juma pr kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2,8 mm 2,2÷2,5 mm	164,1 <sup>bcd</sup>	31,7 <sup>cd</sup>	35,6	23,5 <sup>c</sup>	0,006 <sup>bcd</sup>	0,033 <sup>cd</sup>	0,001	0,027 <sup>cd</sup>
	185,8 <sup>acd</sup>	31,1 <sup>cd</sup>	38,0	23,8 <sup>c</sup>	0,005 <sup>a</sup>	0,033 <sup>cd</sup>	0,001	0,028 <sup>cd</sup>
	195,3 <sup>ab</sup>	41,7 <sup>abd</sup>	36,2	27,3 <sup>abd</sup>	0,005 <sup>a</sup>	0,025 <sup>abd</sup>	0,001	0,018 <sup>abd</sup>
	193,7 <sup>ab</sup>	47,7 <sup>abc</sup>	35,1	23,0 <sup>c</sup>	0,005 <sup>a</sup>	0,021 <sup>abc</sup>	0,001	0,015 <sup>abc</sup>
Mikon próba kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2,8 mm 2,2÷2,5 mm	178,8	53,1 <sup>bcd</sup>	43,0	24,0 <sup>bd</sup>	0,006	0,019 <sup>bcd</sup>	0,001	0,009 <sup>bcd</sup>
	180,3	24,8 <sup>acd</sup>	38,9	19,4 <sup>ac</sup>	0,006	0,043 <sup>acd</sup>	0,001	0,039 <sup>acd</sup>
	173,2	62,8 <sup>abd</sup>	40,9	23,3 <sup>bd</sup>	0,006	0,016 <sup>abd</sup>	0,001	0,006 <sup>abd</sup>
	171,0	68,2 <sup>abc</sup>	40,2	19,6 <sup>ac</sup>	0,006	0,015 <sup>abc</sup>	0,001	0,004 <sup>abc</sup>
Kobra próba kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2,8 mm 2,2÷2,5 mm	181,3 <sup>bc</sup>	47,6 <sup>bcd</sup>	44,4	24,2 <sup>cd</sup>	0,005 <sup>bcd</sup>	0,021 <sup>bcd</sup>	0,001	0,012 <sup>bc</sup>
	169,2 <sup>ad</sup>	34,9 <sup>acd</sup>	39,5	23,5 <sup>cd</sup>	0,006 <sup>a</sup>	0,030 <sup>acd</sup>	0,001	0,023 <sup>acd</sup>
	168,8 <sup>ad</sup>	41,8 <sup>abd</sup>	38,7	25,3 <sup>abd</sup>	0,006 <sup>a</sup>	0,025 <sup>abd</sup>	0,001	0,016 <sup>abd</sup>
	184,2 <sup>bc</sup>	53,4 <sup>abc</sup>	44,1	26,9 <sup>abc</sup>	0,006 <sup>a</sup>	0,019 <sup>abc</sup>	0,001	0,010 <sup>bc</sup>

\* wartości średnie w poszczególnych kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie (p ≤ 0,05),

\* means in the individual columns marked with different letters differ significantly at p ≤ 0,05.

Tabela 2. Zmiany właściwości przewodnościowych ziarniaków pszenicy w zależności od odmiany, frakcji ziarna i jego wilgotności \*.

Table 2. Changes in conductive properties of wheat kernels as affected by variety, grain fraction and its moisture\*

Odmiana pszenicy/ frakcja ziarna	Częstotliwość prądu: f = 1 kHz							
	impedancja Z (MΩ)		rezystancja R (MΩ)		admitancja Y (μS)		konduktancja G (μS)	
	wilgotność ziarna				wilgotność ziarna			
	11%	15%	11%	15%	11%	15%	11%	15%
Korweta pr kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2,8 mm 2,2÷2,5 mm	23,6 <sup>cd</sup>	5,4 <sup>bcd</sup>	2,7 <sup>cd</sup>	1,6 <sup>bcd</sup>	0,042	0,144 <sup>bd</sup>	0,006 <sup>bcd</sup>	0,035 <sup>bd</sup>
	23,4 <sup>cd</sup>	6,5 <sup>ad</sup>	2,8 <sup>cd</sup>	1,8 <sup>acd</sup>	0,043	0,155 <sup>acd</sup>	0,005 <sup>acd</sup>	0,045 <sup>acd</sup>
	22,4 <sup>abd</sup>	7,0 <sup>a</sup>	3,2 <sup>abd</sup>	1,7 <sup>abd</sup>	0,045	0,142 <sup>bd</sup>	0,007 <sup>abd</sup>	0,036 <sup>bd</sup>
	21,1 <sup>abc</sup>	7,6 <sup>a</sup>	3,8 <sup>abc</sup>	1,5 <sup>abc</sup>	0,047	0,132 <sup>abc</sup>	0,009 <sup>abc</sup>	0,027 <sup>abc</sup>
Juma pr kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2,8 mm 2,2÷2,5 mm	21,3 <sup>bcd</sup>	6,6 <sup>d</sup>	3,0 <sup>bcd</sup>	2,7 <sup>bcd</sup>	0,047 <sup>b</sup>	0,151 <sup>cd</sup>	0,007 <sup>bcd</sup>	0,063 <sup>cd</sup>
	22,9 <sup>ac</sup>	6,7 <sup>d</sup>	2,6 <sup>a</sup>	2,8 <sup>acd</sup>	0,037 <sup>a</sup>	0,150 <sup>cd</sup>	0,005 <sup>acd</sup>	0,065 <sup>cd</sup>
	23,6 <sup>abd</sup>	7,3 <sup>d</sup>	2,3 <sup>a</sup>	2,6 <sup>abd</sup>	0,042	0,136 <sup>abd</sup>	0,004 <sup>ab</sup>	0,048 <sup>abd</sup>
	23,0 <sup>ac</sup>	8,2 <sup>abc</sup>	2,4 <sup>a</sup>	2,4 <sup>abc</sup>	0,043	0,127 <sup>abc</sup>	0,004 <sup>ab</sup>	0,035 <sup>abc</sup>
Mikon pr kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2,8mm 2,2÷2, mm	23,2	7,4 <sup>bd</sup>	3,0 <sup>d</sup>	1,9 <sup>bcd</sup>	0,043	0,136 <sup>bcd</sup>	0,006 <sup>d</sup>	0,035 <sup>bcd</sup>
	22,7	6,0 <sup>acd</sup>	3,0 <sup>d</sup>	2,8 <sup>acd</sup>	0,044	0,167 <sup>acd</sup>	0,006 <sup>d</sup>	0,080 <sup>acd</sup>
	22,9	8,3 <sup>b</sup>	3,1	2,0 <sup>ab</sup>	0,044	0,120 <sup>abd</sup>	0,006 <sup>d</sup>	0,030 <sup>abd</sup>
	23,1	8,7 <sup>ab</sup>	3,4 <sup>ab</sup>	2,0 <sup>ab</sup>	0,043	0,116 <sup>abc</sup>	0,007 <sup>abc</sup>	0,027 <sup>abc</sup>
Kobra pr kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2, mm 2,2÷2, mm	23,1 <sup>bc</sup>	7,1	2,9	1,8 <sup>bc</sup>	0,037 <sup>bcd</sup>	0,141 <sup>bd</sup>	0,005 <sup>bcd</sup>	0,037 <sup>bcd</sup>
	22,1 <sup>ad</sup>	6,4 <sup>d</sup>	2,9	2,3 <sup>acd</sup>	0,045 <sup>a</sup>	0,156 <sup>acd</sup>	0,006 <sup>a</sup>	0,057 <sup>acd</sup>
	22,1 <sup>ad</sup>	6,9	3,0	2,1 <sup>abd</sup>	0,045 <sup>a</sup>	0,144 <sup>bd</sup>	0,006 <sup>a</sup>	0,044 <sup>abd</sup>
	23,1 <sup>bc</sup>	7,6 <sup>b</sup>	3,0	1,9 <sup>bc</sup>	0,044 <sup>a</sup>	0,131 <sup>abc</sup>	0,006 <sup>a</sup>	0,033 <sup>abc</sup>

\* wartości średnie w poszczególnych kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie ( $p \leq 0,05$ ),

\* means in the individual columns marked with different letters differ significantly at  $p \leq 0,05$ .

Tabela 3. Zmiany właściwości przewodnościowych ziarniaków pszenicy w zależności od odmiany, frakcji ziarna i jego wilgotności \*.

Table 3. Changes in conductive properties of wheat kernels as affected by variety, grain fraction and its moisture\*

Odmiana pszenicy/ frakcja ziarna	Częstotliwość prądu: f = 10 kHz							
	impedancja Z (MΩ)		rezystancja R (MΩ)		admitancja Y (μS)		konduktancja G (μS)	
	wilgotność ziarna				wilgotność ziarna			
	11%	15%	11%	15%	11%	15%	11%	15%
Korweta pr kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2,8 mm 2,2÷2,5 mm	2,7 <sup>bcd</sup>	1,0 <sup>bd</sup>	0,16 <sup>bcd</sup>	0,30 <sup>b</sup>	0,376 <sup>bcd</sup>	1,002 <sup>b</sup>	0,023 <sup>bcd</sup>	0,306 <sup>bd</sup>
	2,6 <sup>acd</sup>	0,9 <sup>acd</sup>	0,14 <sup>acd</sup>	0,32 <sup>acd</sup>	0,384 <sup>acd</sup>	0,776 <sup>acd</sup>	0,020 <sup>acd</sup>	0,338 <sup>acd</sup>
	2,5 <sup>ab</sup>	1,0 <sup>bd</sup>	0,17 <sup>abd</sup>	0,30 <sup>b</sup>	0,393 <sup>ab</sup>	0,994 <sup>b</sup>	0,025 <sup>abd</sup>	0,299 <sup>bd</sup>
	2,5 <sup>ab</sup>	1,1 <sup>abc</sup>	0,21 <sup>abc</sup>	0,31 <sup>b</sup>	0,397 <sup>ab</sup>	0,941 <sup>b</sup>	0,033 <sup>abc</sup>	0,274 <sup>abc</sup>
Juma pr kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2,8 mm 2,2÷2,5 mm	2,4 <sup>bcd</sup>	1,0 <sup>bcd</sup>	0,17 <sup>bcd</sup>	0,35 <sup>b</sup>	0,407 <sup>bcd</sup>	0,934	0,027 <sup>bcd</sup>	0,305 <sup>cd</sup>
	2,5 <sup>acd</sup>	1,1 <sup>acd</sup>	0,14 <sup>acd</sup>	0,37 <sup>acd</sup>	0,387 <sup>a</sup>	0,906	0,021 <sup>acd</sup>	0,301 <sup>cd</sup>
	2,6 <sup>abd</sup>	1,2 <sup>abd</sup>	0,12 <sup>abd</sup>	0,35 <sup>b</sup>	0,385 <sup>ad</sup>	0,884	0,018 <sup>ab</sup>	0,269 <sup>abd</sup>
	2,7 <sup>abc</sup>	1,3 <sup>abc</sup>	0,13 <sup>abc</sup>	0,35 <sup>b</sup>	0,389 <sup>ac</sup>	0,895	0,018 <sup>ab</sup>	0,252 <sup>abc</sup>
Mikon pr kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2,8 mm 2,2÷2,5 mm	2,6	1,1 <sup>bcd</sup>	0,16 <sup>d</sup>	0,34 <sup>bcd</sup>	0,383	0,920	0,022 <sup>cd</sup>	0,287 <sup>bcd</sup>
	2,6 <sup>d</sup>	1,0 <sup>acd</sup>	0,15 <sup>cd</sup>	0,35 <sup>acd</sup>	0,389 <sup>d</sup>	1,019 <sup>d</sup>	0,023 <sup>d</sup>	0,360 <sup>acd</sup>
	2,6 <sup>d</sup>	1,2 <sup>abd</sup>	0,16 <sup>bd</sup>	0,37 <sup>abd</sup>	0,386 <sup>d</sup>	0,808	0,023 <sup>ad</sup>	0,244 <sup>abd</sup>
	2,7 <sup>bc</sup>	1,3 <sup>abc</sup>	0,18 <sup>abc</sup>	0,38 <sup>abc</sup>	0,377 <sup>bc</sup>	0,778 <sup>b</sup>	0,025 <sup>abc</sup>	0,231 <sup>abc</sup>
Kobra pr kontrolna > 2,8 mm 2,5÷2,8 mm 2,2÷2,5 mm	2,6 <sup>bc</sup>	1,0 <sup>bd</sup>	0,14 <sup>bcd</sup>	0,29 <sup>bd</sup>	0,386 <sup>bc</sup>	1,016	0,022 <sup>bcd</sup>	0,296 <sup>bd</sup>
	2,5 <sup>ad</sup>	0,9 <sup>ad</sup>	0,15 <sup>acd</sup>	0,31 <sup>acd</sup>	0,402 <sup>ad</sup>	1,038	0,024 <sup>ad</sup>	0,332 <sup>acd</sup>
	2,5 <sup>ad</sup>	1,0 <sup>d</sup>	0,16 <sup>abd</sup>	0,29 <sup>bd</sup>	0,396 <sup>ad</sup>	1,017	0,024 <sup>ad</sup>	0,299 <sup>bd</sup>
	2,6 <sup>bc</sup>	1,1 <sup>abc</sup>	0,15 <sup>abc</sup>	0,30 <sup>abc</sup>	0,388 <sup>bc</sup>	0,945	0,023 <sup>abc</sup>	0,268 <sup>abc</sup>

\* wartości średnie w poszczególnych kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie ( $p \leq 0,05$ ),

\* means in the individual columns marked with different letters differ significantly at  $p \leq 0,05$ . Tabela 4. Zmiany właściwości przewodnościowych ziarniaków pszenicy w zależności od odmiany, frakcji ziarna i jego wilgotności

Table 4. Changes in conductive properties of wheat kernels as affected by variety, grain fraction and its moisture\*

Odmiana pszenicy/ frakcja ziarna	Częstotliwość prądu: f = 100 kHz							
	impedancja Z (MΩ)		rezystancja R (MΩ)		admitancja Y (μS)		konduktancja G (μS)	
	wilgotność ziarna				wilgotność ziarna			
	11%	15%	11%	15%	11%	15%	11%	15%
<b>Korweta</b>								
pr kontrolna	0,28 <sup>bcd</sup>	0,17 <sup>d</sup>	0,010 <sup>bd</sup>	0,047 <sup>c</sup>	3,55 <sup>bcd</sup>	6,01 <sup>d</sup>	0,121 <sup>bcd</sup>	1,683 <sup>bd</sup>
> 2,8 mm	0,27 <sup>a</sup>	0,16 <sup>cd</sup>	0,009 <sup>acd</sup>	0,047 <sup>c</sup>	3,65 <sup>a</sup>	6,08 <sup>d</sup>	0,117 <sup>acd</sup>	1,474 <sup>acd</sup>
2,5÷2,8 mm	0,27 <sup>a</sup>	0,17 <sup>bd</sup>	0,010 <sup>bd</sup>	0,046 <sup>ab</sup>	3,70 <sup>a</sup>	6,01 <sup>d</sup>	0,130 <sup>abd</sup>	1,658 <sup>bd</sup>
2,2÷2,5 mm	0,27 <sup>a</sup>	0,18 <sup>abc</sup>	0,011 <sup>abc</sup>	0,047	3,66 <sup>a</sup>	5,74 <sup>abc</sup>	0,150 <sup>abc</sup>	1,534 <sup>abc</sup>
<b>Juma</b>								
pr kontrolna	0,26 <sup>bcd</sup>	0,16 <sup>bcd</sup>	0,009 <sup>bcd</sup>	0,040 <sup>d</sup>	3,83 <sup>bcd</sup>	5,96 <sup>bcd</sup>	0,132 <sup>bcd</sup>	1,421 <sup>bcd</sup>
> 2,8 mm	0,27 <sup>a</sup>	0,17 <sup>acd</sup>	0,008 <sup>ad</sup>	0,040 <sup>d</sup>	3,73 <sup>ad</sup>	5,81 <sup>ad</sup>	0,113 <sup>a</sup>	1,342 <sup>a</sup>
2,5÷2,8 mm	0,27 <sup>a</sup>	0,18 <sup>abd</sup>	0,008 <sup>ad</sup>	0,040 <sup>d</sup>	3,67 <sup>ad</sup>	5,73 <sup>ad</sup>	0,110 <sup>a</sup>	1,309 <sup>a</sup>
2,2÷2,5 mm	0,27 <sup>a</sup>	0,19 <sup>abc</sup>	0,010 <sup>abc</sup>	0,041 <sup>abc</sup>	3,52 <sup>abc</sup>	5,55 <sup>abc</sup>	0,112 <sup>a</sup>	1,298 <sup>a</sup>
<b>Mikon</b>								
pr kontrolna	0,27 <sup>d</sup>	0,18 <sup>bcd</sup>	0,009 <sup>d</sup>	0,046 <sup>bcd</sup>	3,61 <sup>bd</sup>	5,59 <sup>bcd</sup>	0,120 <sup>d</sup>	1,447 <sup>bcd</sup>
> 2,8 mm	0,27 <sup>d</sup>	0,17 <sup>acd</sup>	0,009 <sup>cd</sup>	0,047 <sup>acd</sup>	3,68 <sup>ad</sup>	6,05 <sup>acd</sup>	0,121 <sup>d</sup>	1,731 <sup>acd</sup>
2,5÷2,8 mm	0,27 <sup>d</sup>	0,19 <sup>abd</sup>	0,009 <sup>bd</sup>	0,043 <sup>abd</sup>	3,64 <sup>d</sup>	5,15 <sup>abd</sup>	0,121 <sup>d</sup>	1,128 <sup>ab</sup>
2,2÷2,5 mm	0,28 <sup>abc</sup>	0,20 <sup>abc</sup>	0,010 <sup>abc</sup>	0,044 <sup>abc</sup>	3,54 <sup>abc</sup>	4,98 <sup>abc</sup>	0,126 <sup>abc</sup>	1,094 <sup>ab</sup>
<b>Kobra</b>								
pr kontrolna	0,27 <sup>bc</sup>	0,16 <sup>bd</sup>	0,008 <sup>cd</sup>	0,045 <sup>c</sup>	3,66 <sup>bc</sup>	6,14 <sup>bd</sup>	0,117 <sup>bcd</sup>	1,702 <sup>d</sup>
> 2,8 mm	0,26 <sup>acd</sup>	0,15 <sup>ad</sup>	0,008 <sup>cd</sup>	0,045	3,80 <sup>acd</sup>	6,25 <sup>ad</sup>	0,126 <sup>ad</sup>	1,741 <sup>d</sup>
2,5÷2,8 mm	0,27 <sup>abd</sup>	0,16 <sup>d</sup>	0,009 <sup>ab</sup>	0,044 <sup>a</sup>	3,74 <sup>abd</sup>	6,21 <sup>d</sup>	0,127 <sup>ad</sup>	1,714 <sup>d</sup>
2,2÷2,5 mm	0,27 <sup>bc</sup>	0,17 <sup>abc</sup>	0,009 <sup>ab</sup>	0,045	3,65 <sup>bc</sup>	5,84 <sup>abc</sup>	0,122 <sup>abc</sup>	1,527 <sup>abc</sup>

\* wartości średnie w poszczególnych kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie (p ≤ 0,05),

\* means in the individual columns marked with different letters differ significantly at p ≤ 0,05.

## Bibliografia

Dąbrowski S., Grochowicz J., Pietrzyk W. 1981.: Elektryczne właściwości nasion i ich praktyczne wykorzystanie. Problemy Agrofizyki, 35, 1-65.

Jankowski S. 1988.: Surowce mączne i kaszowe. Ziarno zbóż, gryki i grochu. WNT, Warszawa, 109 -110.

Jankowski T. 1989.: Modele właściwości fizycznych artykułów żywnościowych. Właściwości cieplne, dyfuzyjne i elektryczne. Przemysł Spożywczy, 9-10, 234-237.

Łuczyczna D. 1995.: Elektryczny model pojedynczej warstwy ziarna zbóż. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 424, 321-326.

Pierzynowska-Korniak G., Żywica R., Wójcik J. 2003.: Electric properties of apple purée and pulp of apple juices. European Food Research and Technology, 216, 385-389.

## Conductive properties of wheat grain

### Summary

The work aimed at determination of conductive properties of wheat grain as affected by variety, moisture, size of kernels and applied frequency of electric current. Wheat grain of four winter varieties: Korweta, Juma, Mikon, Kobra was used as the material for study. Grain was sized into three fractions: > 2,8 mm, 2,5-2,8 mm and 2,2-2,5 mm. Conductive properties of not sorted grain (control sample) and its three fractions, at moisture 11% and 15%, have been performed with the HP 4263B meter. Sinusoidal voltage of 250 mV and four frequencies of electric current: 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz and 100 kHz were used. Measurements of impedance, resistance, admittance and conductance were made. Obtained results were subjected to statistical analysis with the use of STATISTICA™ programme. Changes in conductive properties of grain significantly ( $p \leq 0,05$ ) depended on all of studied factors, i.e. variety, moisture, size of kernels and applied frequency of electric current.

**Key words:** wheat, winter varieties, size of kernels, conductive properties of grain