

ZALEŻNOŚĆ WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNYCH ZIARNIAKÓW ZBÓŻ OD OBCIĄŻEŃ MECHANICZNYCH I POLA ELEKTROSTATYCZNEGO

Marek Horyński, Stanisław Walusiak, Wiktor Pietrzyk

Wydział Elektryczny, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin
e-mail: mhor@elektron.pol.lublin.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono stanowisko do badania wpływu naprężeń mechanicznych oraz pola elektrostatycznego na rezystancję i przenikalność elektryczną ziarniaków zbóż. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że rezystancja ziarniaków maleje ze wzrostem siły ściskającej, rośnie natomiast pod wpływem siły rozciągającej. Naprężenia ściskające powodują zmniejszenie przenikalności elektrycznej ziarniaków, a pole elektrostatyczne jej wzrost.

Słowa kluczowe: ziarniaki, rezystancja, przenikalność elektryczna, naprężenia mechaniczne, pole elektrostatyczne

WSTĘP

Znajomość właściwości elektrycznych ziarniaków zbóż oraz ich zależności od naprężeń mechanicznych i natężeń pól elektrycznych jest potrzebna przy projektowaniu urządzeń do procesów zwanych elektrotechnologiami oraz różnego rodzaju czujników, np. do pomiaru naprężeń mechanicznych, wilgotności. W znanej literaturze przedmiotu dużo jest opracowań podających wyniki badań rezystancji w funkcji wilgotności oraz przenikalności elektrycznej w funkcji wilgotności, częstotliwości i gęstości masy [1,2,3,4]. Prezentowane wyniki uzupełniają tę lukę.

Na uwagę zasługuje silna zależność (w przybliżeniu hiperboliczna) rezystancji ziarniaków od sił ściskających. Daje to możliwość budowy prostego czujnika rezystancyjnego do pomiaru ciśnienia, np. w silosach zbożowych.

Przenikalność elektryczna ziarniaków zależy od natężenia pola elektrostatycznego – rośnie wraz z jego wzrostem. W znanych formułach obliczeń inżynierskich zależność ta nie jest uwzględniana. Wyniki obliczeń prowadzą więc do błędnego

oszacowania mocy potrzebnego źródła energii, tj. przetwornicy częstotliwości w suszarniach mikrofalowych.

Przytoczone w pracy wyniki badań pozwalają uściślić algorytm stosowanych dotychczas obliczeń w projektowaniu urządzeń do mikrofalowego nagrzewania, np. w suszarkach.

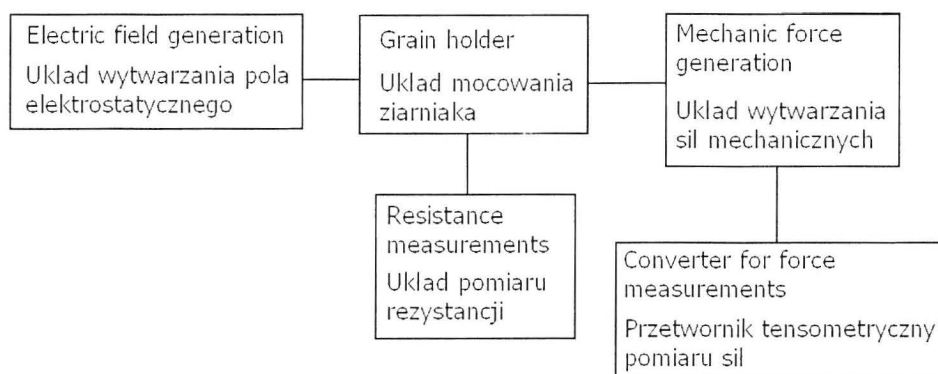
ZALEŻNOŚĆ REZYSTANCJI ZIARNIAKÓW OD SIŁ ROZCIĄGAJĄCYCH

Ziarniaki zbóż należą do dielektryków niejednorodnych i mierzone właściwości określone parametrami elektrycznymi: rezystancją, przewodnością elektryczną, przenikalnością dielektryczną itp., dotyczą z reguły uśrednionych wartości masy ziarniaków.

Rezystancja ziarniaka zależy od wielu czynników: temperatury, wilgotności, masy i odmiany pszenicy.

W celu wyrównania wilgotności ziarniaki przed pomiarem umieszczano w komorze klimatyzacyjnej. Pomiary rezystancji ziarniaków poddawanych działaniu sił rozciągających wykonywano w układzie, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 1. Ziarniaki były poddawane działaniu sił rozciągających w zakresie od 0 do 18 N.

Badania przeprowadzano na ziarniakach pszenicy jarej odmiany Sigma o wymiarach: długość $l \approx 5$ mm, średnica umowna $d \approx 2,8$ mm, współczynnik sferyczności $B_w = d/l \approx 0,56$. Ziarniaki tej odmiany charakteryzują się wysoką twardością struktury, co pozwala na obserwację zjawisk strykyjnych.

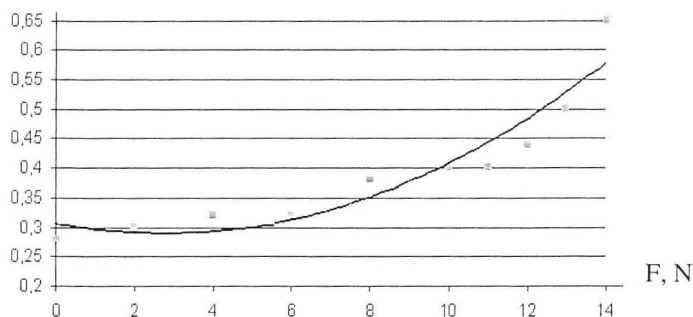


Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego

Fig. 1. Laboratory stand scheme

Pomiary rezystancji wykonywano za pomocą przyrządu do badania materiałów izolacyjnych typu P 435. Badania przeprowadzano w seriach, powtarzając 6 razy pomiar dla tej samej wartości siły. Uśrednione wartości rezystancji dla wybranej serii pomiarowej przedstawiono na rysunku 2. Pomiary prowadzono do chwili zerwania próbki.

R_{sr} , GΩ



Rys. 2. Zależność rezystancji ziarniaka pszenicy od siły rozciągającej

Fig. 2. The dependence of wheat grain resistance vs. tension force

Z wyników uzyskanych podczas badań rezystancji ziarniaka poddanego działaniu siły rozciągającej wynika, że:

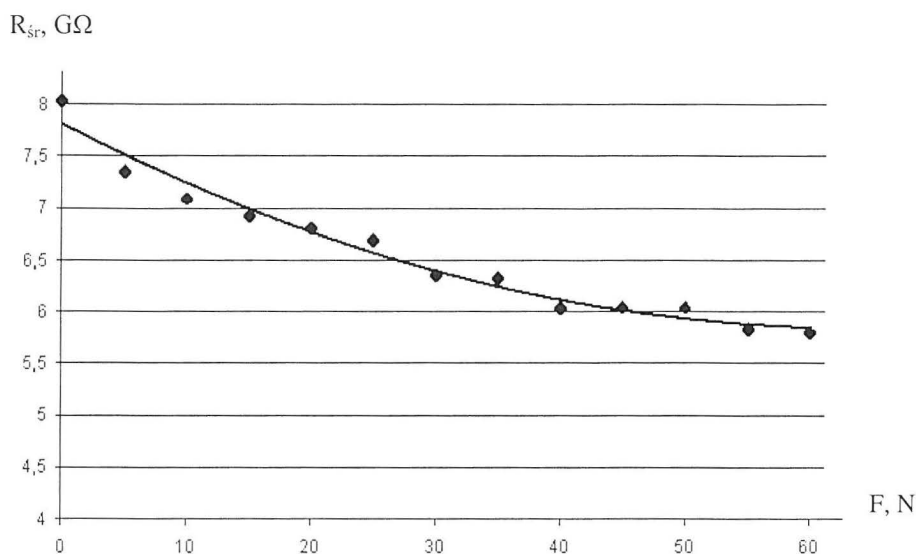
1. wartość rezystancji zależy od wielkości siły rozciągającej działającej na ziarniak.
2. zakres zmian rezystancji ziarniaka nie jest jednakowy dla całego zakresu zmian siły rozciągającej. Tym samym przyrostom siły rozciągającej towarzyszą inne przyrosty rezystancji. Występują przedziały, w których rezystancja maleje i rośnie.

ZALEŻNOŚĆ REZYSTANCJI ZIARNIAKÓW OD SIŁ ŚCISKAJĄCYCH

Ziarniaki pszenicy o parametrach podanych w punkcie poprzednim poddano działaniu sił ściskających zmienianych z zakresu 0÷60 N. Na rysunku 3 przedstawione zostały wyniki pomiaru rezystancji ziarniaka poddanego działaniu sił ściskających.

Na podstawie wyników pomiarów można stwierdzić, że:

1. ze wzrostem siły ściskającej maleje rezystancja ziarniaka,
2. zakres zmian nie jest jednakowy dla całego zakresu działania sił ściskających i jest największy w początkowej fazie ściskania.



Rys. 3. Zależność rezystancji ziarniaka pszenicy od siły ściskającej

Fig. 3. Wheat grain resistance vs. pressing force

ZALEŻNOŚĆ REZYSTANCJI ZIARNIAKÓW PSZENICY OD NATĘŻENIA POLA ELEKTROSTATYCZNEGO

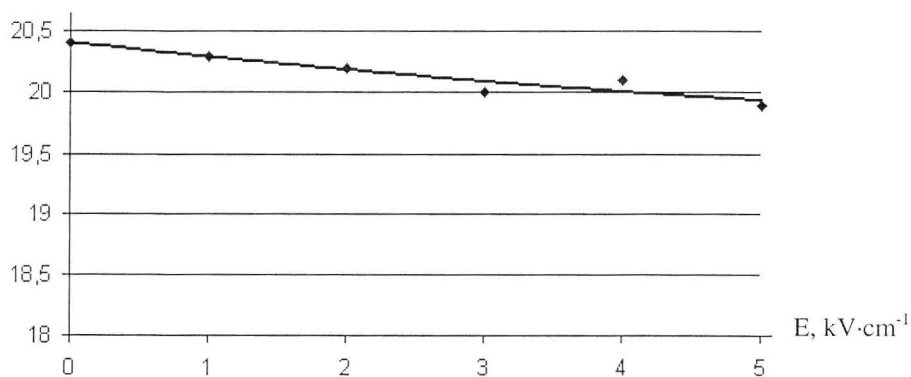
Pomiary wpływu pola elektrostatycznego na rezystancję ziarniaka przeprowadzono przy różnych jego wilgotnościach, poddając ziarniaki działaniu pola elektrostatycznego o różnym natężeniu. Zależność rezystancji ziarniaków od natężenia pola elektrostatycznego wytwarzanego przez elektrody ostrzowe przedstawiono na rysunku 4.

Na rysunku 5 przedstawiono zależność rezystancji ziarniaka pszenicy poddanego działaniu pola elektrostatycznego o stałym natężeniu od jego wilgotności.

Ze wzrostem natężenia pola elektrycznego rezystancja ziarniaka maleje, co wynika z pojawiania się w ziarnie prądu elektrycznego, którego wartość zależy od natężenia pola.

1. Zmiana rezystancji ziarniaka poddanego działaniu pola elektrostatycznego jest większa dla ziarniaków o mniejszej wilgotności.
2. Wzrost wartości natężenia pola elektrostatycznego wywołuje zmniejszenie rezystancji ziarniaków.

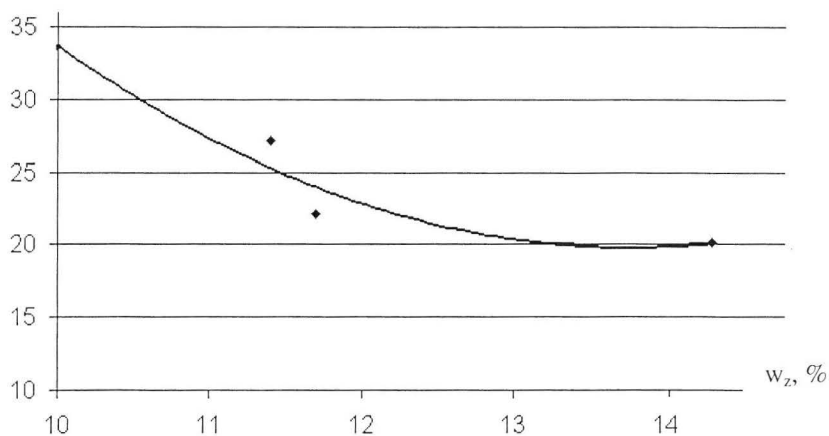
R_{sr} , $G\Omega$



Rys. 4. Zależność rezystancji ziarniaka pszenicy od natężenia pola elektrostatycznego. Wilgotność ziarniaka 14,3% [1]

Fig. 4. The dependence of wheat grain resistance on electrostatic field intensity, m.c.= 14.3% [1]

R_{sr} , $G\Omega$



Rys. 5. Zależność rezystancji ziarniaka w zależności od jego wilgotności w polu elektrostatycznym o natężeniu $E = 4 kV \cdot cm^{-1}$

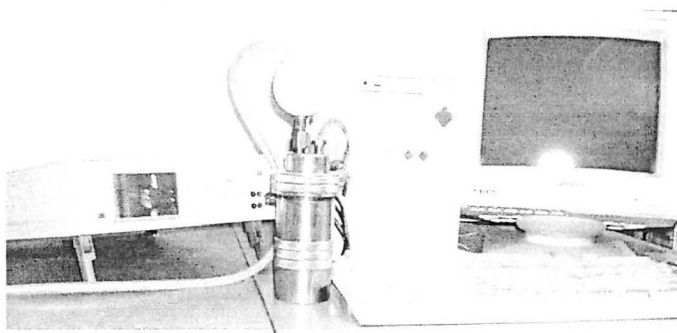
Fig. 5. The dependence of grain resistance on moisture content under the electrostatic field intensity of $E = 4 kV \cdot cm^{-1}$

PRZENIKALNOŚĆ ELEKTRYCZNA ZIARNIAKÓW ZBÓŻ W FUNKCJI OBCIĄŻEŃ MECHANICZNYCH

Pomiary wpływu obciążeń mechanicznych na przenikalność elektryczną ziarniaków zbóż przeprowadzono dla: jęczmienia, pszenicy i żyta.

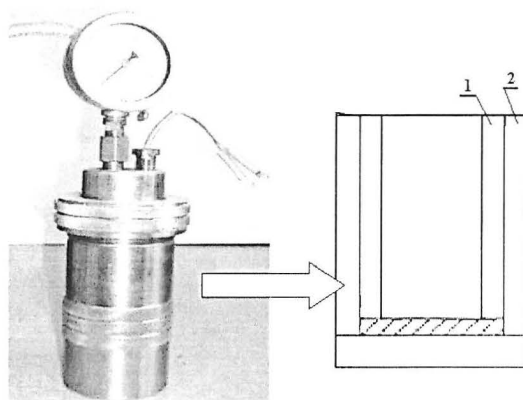
Opracowano metodykę pomiarów oraz skonstruowano stanowisko badawcze (rys. 6), w skład którego wchodził:

- miernik RLC do pomiaru pojemności kondensatora z ziarniakami,
- waga laboratoryjna do ważenia próbek ziarna,
- cylinder ciśnieniowy, w którym zadawane były obciążenia trójosiowe (rys. 7, 8),
- walcowy kondensator do pomiaru składowej rzeczywistej przenikalności elektrycznej (rys. 8).



Rys. 6. Stanowisko laboratoryjne

Fig. 6. Laboratory stand



Rys. 7. Cylinder ciśnieniowy
Fig. 7. Pressure vessel

Rys. 8. Walcowy kondensator pomiarowy:
1 – kondensator cylindryczny, 2 – ścianki cylindra ciśnieniowego

Fig. 8. Cylindrical measuring capacitor:
1 – cylindrical capacitor, 2 – cylinder's walls

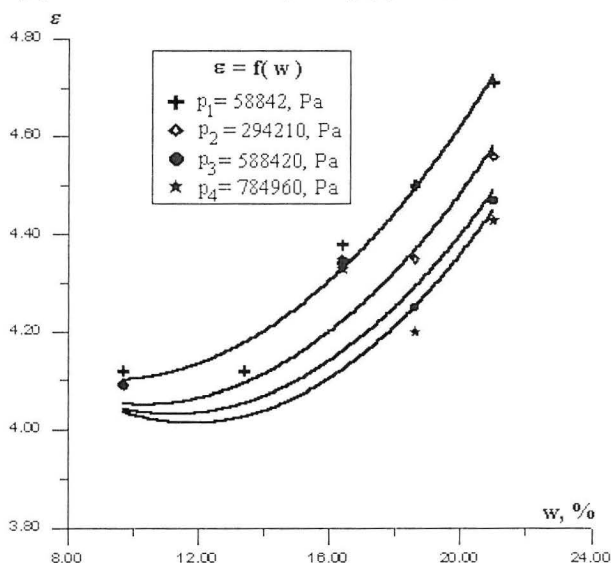
Składową rzeczywistą przenikalności elektrycznej wyznaczono metodą pośrednią, z zależności:

$$\varepsilon = \frac{C_r}{C_0}, \quad (1)$$

gdzie: C_r – pojemność kondensatora z ziarniakami,
 C_0 – pojemność pustego kondensatora.

Ciśnienie było wywołane za pomocą sprężarki w zakresie $p = 0 \div 0,785$ MPa. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- zmiana przenikalności elektrycznej ziarniaków zależy od ich wilgotności,
- obciążenia mechaniczne typu ściskającego powodują zmniejszenie składowej rzeczywistej przenikalności elektrycznej (rys. 9),



Rys. 9. Zależność składowej rzeczywistej przenikalności elektrycznej pszenicy od wilgotności dla $p = \text{const}$

Fig. 9. The dependence of real part of grain dielectric constant at $p = \text{const}$. vs. moisture content for wheat

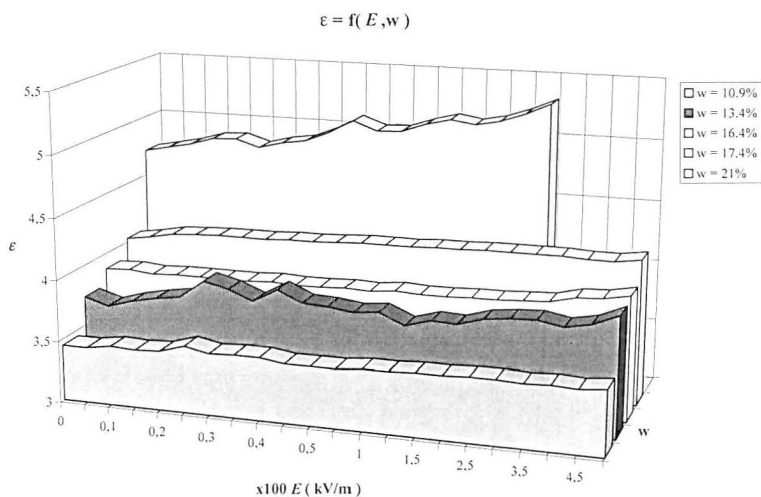
- największy spadek przenikalności elektrycznej ziarniaków zachodzi w przedziale ciśnień $p = 0 \div 0,785$ MPa i wynosi $-5,9\%$.
- zastosowana metoda zadawania ciśnienia nie jest precyzyjna, ponieważ powietrze włączane do zbiornika ciśnieniowego wnikało również do struktury wewnętrznej ziarniaków. Ziarno powinno być umieszczane w zbiornikach sprężystych poddawanych ściskaniu.

PRZENIKALNOŚĆ ELEKTRYCZNA ZIARNIAKÓW PSZENICY W FUNKCJI NATĘŻENIA POLA ELEKTROSTATYCZNEGO

Pomiary wpływu natężenia pola elektrostatycznego na przenikalność elektryczną zostały przeprowadzone na specjalnie skonstruowanym do tego celu stanowisku badawczym według opracowanej metodyki.

W skład stanowiska wchodził:

- płaski kondensator pomiarowy (umieszczony w miejsce cylindra ciśnieniowego z kondensatorem walcowym), w którym było wytwarzane jednorodne pole elektrostatyczne
- zasilacz wysokiego napięcia stałego, służący do zasilania kondensatora,
- miernik RLC do pomiaru pojemności kondensatora z ziarniakami,
- waga laboratoryjna.



Rys. 10. Zależność $\varepsilon = f(E, w)$ dla ziarniaków pszenicy

Fig. 10. The dependence of $\varepsilon = f(E, w)$ for wheat grain

Pomiar odbywał się według następującej procedury: ziarniaki pszenicy po zważeniu były umieszczane w kondensatorze. Mierzono pojemność kondensatora przed wytworzeniem pola elektrostatycznego. Następnie do kondensatora przykładano napięcie $U = 0 \div 5$ kV. Natężenie pola elektrycznego wynosiło w tym przypadku $E = 0 \div 500$ kV·m⁻¹. Po odłączeniu zasilania i rozładowaniu kondensatora mierzono jego pojemność z ziarniakami. Wyznaczenie rzeczywistej składowej przenikalności elektrycznej odbywało się metodą pośrednią.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów i obliczeń stwierdzono, że (rys. 10):

1. wzrost natężenia pola elektrycznego powoduje wzrost składowej rzeczywistej przenikalności elektrycznej,
2. wzrost wilgotności ziarna wywołuje wzrost przenikalności elektrycznej. Istotna dla wielkości wzrostu przenikalności elektrycznej jest początkowa wartość wilgotności ziarniaków,
3. zmiany przenikalności uwiadcniają się szczególnie przy wyższych wilgotnościach ziarniaków ($w > 16\%$).

Według Taruškina [5] pod wpływem pola elektrostatycznego powstają w ziarniaku naprężenia mechaniczne, które wywołują mikrozmiany w strukturze ziarniaka. Zmiany te mogą objawiać się przez obniżenie zdolności do utrzymywania wilgoci i obniżenie energochłonności w procesie suszenia ziarniaków wspomaganego oddziaływaniem pola elektrostatycznego.

W dalszych pracach będą przeprowadzone badania wpływu obciążeń mechanicznych typu rozciągającego na przenikalność elektryczną oraz określenie wpływu natężenia pola elektrostatycznego oraz naprężeń mechanicznych na składową urojoną przenikalności elektrycznej ziarniaków zbóż.

Zbadanie wpływu pola elektrycznego na przenikalność elektryczną ziarniaków pozwoli również na sformułowanie założenia o potencjalnym zastosowaniu tego pola w zwalczaniu szkodników w ziarniakach.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie wpływu obciążeń mechanicznych i natężenia pola elektrostatycznego na składową rzeczywistą przenikalności elektrycznej ziarna zbóż.

1. Stwierdzono silny wpływ wilgotności na zmianę przenikalności przy uwzględnieniu wyżej wymienionych czynników.
2. Stwierdzono również, że rezystancja ziarniaków maleje ze wzrostem siły ściskającej, rośnie natomiast pod wpływem siły rozciągającej.
3. Znajomość zależności przenikalności elektrycznej ziarniaków od wilgotności umożliwia pośredni pomiar ich wilgotności.

PIŚMIENNICTWO

1. **Adamkiewicz J., Pietrzyk W., Złonkiewicz Z., Ścibisz M.:** Pomiar rezystancji ziarniaków zbóż poddanych działaniu naprężeń mechanicznych. Materiały konferencyjne V Sympozjum Naukowe AR, 255-256, Szczecin, 1993.
2. **Horyński M., Pietrzyk W., Walusiak S.:** Dependence of barley dielectric permeability on moisture and mechanical stresses. International Conference on Rational Use of Renewable Energy Sources in Agriculture in connection with the Environmental Control, 2-7 June, Budapest, 1996.
3. **Nelson S.O., Bartley Jr P:** Measuring frequency and temperature-dependent dielectric properties of food materials. Transactions of the ASAE, 43(6), 1733-1736, 2000.
4. **Nelson S.O.:** Density dependence of the dielectric properties of particulate materials. Transactions of the ASAE, 82, 1823-1829, 1983.
5. **Taruškin W.I.:** Wzrost i rozwój pędów młodych roślin na siemieniu pri siepacii. Mech.i Elektr. siel. Choz-wa, 12, 35-39, 1983.

ELECTRICAL PROPERTIES OF GRAINS VS MECHANICAL STRESSES AND ELECTROSTATIC FIELD

Marek Horyński, Stanisław Walusiak, Wiktor Pietrzyk

Faculty of Electrical Engineering, Technical University of Lublin
ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin
e-mail: mhor@elektron.pol.lublin.pl

Abstract. The paper presents the laboratory stand for measurement of the influence of the mechanical stresses and the electrostatic field on the resistance and the dielectric constant of grains. It was stated that resistance decrease vs. compressive force and increase vs. tension force. The compressive stress decreases while the electrostatic field increases the dielectric constant of grain.

Key words: grain seed, resistance, dielectric constant, mechanical stresses, electrostatic field