

problemy agrofizyki

KA AKADEMIA NAUK • ZAKŁAD AGROFIZYKI



oliseum

zeszyt 35

rok 1981

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
ZAKŁAD AGROFIZYKI W LUBLINIE

PROBLEMY AGROFIZYKI 35

STANISŁAW DĄBROWSKI
JÓZEF GROCHOWICZ, WIKTOR PIETRZYK

ELEKTRYCZNE WŁAŚCIWOŚCI NASION I ICH PRAKTYCZNE WYKORZYSTANIE

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK · ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

1981

Komitet redakcyjny

prof. dr JAN GLIŃSKI (redaktor naczelny)

prof. dr IGNACY DECHNIK, doc. dr BOGUSŁAW SZOT

Okładkę projektował Zygmunt Ziemka

Redaktor Wydawnictwa Lidia Kwiecień

Redaktor techniczny Bożena Pojasek

© Copyright by Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1981

Printed in Poland

ISBN 83-04-00834-3

PL ISSN 0137-6586

WPROWADZENIE

Potrzeba dynamicznego rozwoju rolnictwa wymaga poszukiwania nowych rozwiązań technicznych i technologicznych, intensyfikujących produkcję rolniczą przy możliwie niewielkim przyroście nakładów energetycznych. Jak wynika z praktyki ostatnich kilkunastu lat, poważnych odkryć mogących prowadzić do gruntownych zmian w technologii produkcji roślinnej należy oczekiwać na styku nauk technicznych i biologicznych. Jedną z dziedzin rokujących duże możliwości są tzw. elektrotechnologie, tj. procesy i operacje wykorzystujące w sposób bezpośredni energię elektryczną. Na szczególną uwagę zasługują procesy obróbki materiałów ziarnistych i całych roślin w polu elektrycznym i elektromagnetycznym. Za ich pomocą można skutecznie segregować nasiona*, można także spowodować zmianę właściwości biologicznych zarówno nasion, jak i powstałych z nich roślin. Stwierdzono na przykład, że efektem elektroobrobki materiału siewnego może być przyrost plonu zielonej masy oraz plonów ziarna zbóż w granicach 10-30%.

Rezultaty osiągane w innych krajach skłaniają do bliższego zajęcia się tym zagadnieniem, co jest celem tej pracy.

Możliwości zastosowań elektroobrobki materiału pochodzenia biologicznego

Specjalne oddziaływanie energii elektrycznej na materiał biologiczny
podzieliło badania w tym zakresie na kilka głównych nurtów.

*W dalszej części pracy używa się dla uproszczenia terminu "nasiona", rzadziej "ziarno", rozumiejąc pod tym pojęciem zarówno ziarniaki, jak i inne formy botaniczne odniesione tak do materiału siewnego, jak i konsumpcyjnego czy paszowego.

Pierwszą grupę zagadnień stanowią badania nad zależnościami zachodzącymi między wektorami składowymi pola elektromagnetycznego a niektórymi cechami fizycznymi nasion. Określenie tych zależności dostarcza danych do opracowania nowoczesnych metod i technologii czyszczenia, sortowania oraz suszenia nasion.

Drugą grupę zagadnień obejmują badania zmian biofizycznych, biochemicznych i mikrostrukturalnych zachodzących w komórkach i tkankach pod wpływem oddziaływania energii elektrycznej na materiały roślinne, występujące zarówno w postaci nasion, jak i roślin w różnych fazach wzrostu i rozwoju. Badania te mają na celu wyjaśnienie zakresu możliwości i określenie optymalnych parametrów stymulacji wzrostu i rozwoju różnych gatunków roślin poddawanych elektroobróbkę.

Inną grupę stanowią badania nad elektroobróbką produktów pochodzenia zwierzęcego, co może mieć istotne znaczenie w technologii ich przetworstwa i konserwacji.

Przytoczone wyżej przykłady nie wyczerpują wszystkich możliwych, a niekonwencjonalnych zastosowań energii elektrycznej, zwłaszcza w zakresie wysokich napięć w technice rolniczej /34/.

Zakres omawianych zagadnień

Procesy elektroobrobki materiałów biologicznych nie są w Polsce stosowane, a prowadzone dotąd nieliczne badania w tym zakresie mają charakter przypadkowy. Badania takie prowadzone głównie w ZSRR i USA, rozwijane szerzej od początku lat sześćdziesiątych, ciągle jeszcze znajdują się w fazie eksperymentu, jakkolwiek istnieją już opracowane konstrukcje maszyn w skali produkcyjnej. Nie ma także dotąd dobrze opracowanej teorii elektroobrobki materiałów o charakterze biologicznym, brak również jednolitych metod badawczych, co sprawia, że wyniki publikowanych prac są praktycznie nieporównywalne.

Z powyższych względów dalsze rozważania ograniczono tylko do problemów elektroobrobki nasion, eksponując fizykalną stronę tych procesów. Pominęto więc świadomie wyniki badań szczegółowych nad zmianami biofizycznymi, mikrostrukturalnymi i biochemicznymi, jakie zachodzą lub mogą za-

chodzić w komórkach i tkankach roślinnych poddanych elektroobróbkę. Uwaga ta dotyczy zarówno nasion, jak i materiału roślinnego. Wiele przeprowadzonych dotąd badań i publikacji wymaga oddzielnego opracowania monograficznego.

W pracy omówiono wprowadzić wpływ pola elektromagnetycznego na właściwości biologiczne nasion (rozdz. "Wpływ pola..."), ale tylko na tyle, na ile proces elektroseparatoracji wywołuje zmiany o charakterze stymulacji biologicznej, objawiającej się przyrostem zdolności kiełkowania.

Czynniki odgrywające rolę w procesach elektroobróbki nasion

Na proces elektroobróbki materiału ziarnistego wywiera wpływ bardzo wiele różnych czynników, działających kompleksowo, co wyjaśnia dotychczasowy brak teorii tych procesów. W żadnej z dostępnych i cytowanych prac nie natrafiono nawet na próbę usystematyzowania tych czynników, które do celów praktycznych można podzielić na trzy grupy, wyodrębniając:

- a) charakterystyki pola elektromagnetycznego,
- b) cechy obrabianego materiału ziarnistego,
- c) charakterystyki techniczne stosowanych urządzeń i sposób prowadzenia w nich procesu elektroobróbki.

Do pierwszej grupy charakterystyk należy zaliczyć:

- natężenie pola,
- rodzaj pola (elektryczne, magnetyczne, stacjonarne, zmienne),
- czas ekspozycji nasion, tj. czas pozostawiania w strefie działania pola.

W drugiej grupie czynników znajdują się czynniki chemiczne:

- skład chemiczny,
- zawartość wody związanej chemicznie;

oraz czynniki fizyczne:

- wilgotność,
- wymiary: kształt nasion (i związane z nimi tzw. współczynniki sferyczności),
- masa,
- tekstura powierzchni,

- właściwości elektryczne (rezystancja, przenikalność elektryczna, tangens kąta stratności dielektrycznej),
- struktura wewnętrzna (roz rozmieszczenie różnych substancji wewnątrz
- budowa anatomiczna).

Do trzeciej grupy czynników należy zaliczyć:

- rodzaj i przeznaczenie urządzenia,
- układy i kształt elektrod,
- sposób zasilania elektrod (i regulacje),
- charakter przestrzeni międzyelektrodowej,
- sposób elektryzowania nasion,
- grubość obrabianej warstwy nasion itp.

Należy dla jasności dodać, iż praktycznie żaden z wymienionych czynników, zwłaszcza w pierwszej i drugiej grupie, nie działa indywidualnie, a zachowanie się każdej cząstki w procesie elektroobróbki jest wynikiem łącznego i równoczesnego oddziaływania kilku lub nawet kilkunastu czynników.

Większość wzmiankowanych tu zagadnień zostanie szerzej rozwinięta w dalszej części pracy.

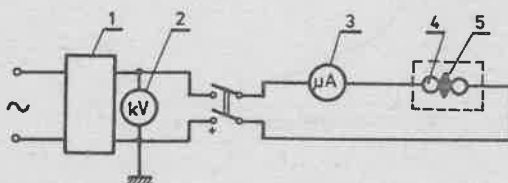
WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNE NASION

Nasiona roślin z punktu widzenia fizyki dielektryków należą do grupy dielektryków o słabej polaryzowalności $/3/$. Ich budowa jest bardzo niejednorodna. Dielektryki niejednorodne nie znajdowały dotychczas praktycznego zastosowania w technice, dlatego też nie powstały znormalizowane metody pomiarowe, mające na celu jednoznaczne określanie ich parametrów elektrycznych. Z tych też powodów właściwości nasion (dielektryków niejednorodnych) z technicznego punktu widzenia są mało poznane.

Dotychczas mierzone wielkości, określające elektryczne właściwości materiałów organicznych pochodzenia biologicznego (rezystancja skrośna, rezystancja powierzchniowa, rezystancja wypadkowa, przenikalność dielektryczna, tangens kąta stratności itp.), dotyczą uśrednionych wartości masy nasion ewentualnie masy pojedynczego ziarna.

Rezystancja nasion

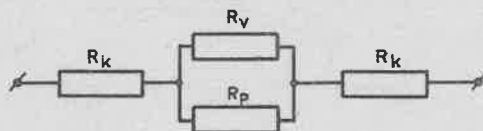
Schemat pomiarowy rezystancji pojedynczego ziarna przedstawia rys.1 /3/. Zmierzona w tym schemacie rezystancja jest rezystancją wypadkową,



Rys. 1. Schemat pomiaru rezystancji pojedynczego ziarna /3/

1 - zasilacz wysokiego napięcia; 2 - kilowoltomierz; 3 - mikroamperomierz;
4 - elektrody pomiarowe; 5 - badane ziarno

której składowe można przedstawić na uproszczonym schemacie zastępczym (rys. 2). Wyróżniono w nim rezystancje przejścia R_k (między powierzchnią ziarna a stykającą się z nim elektrodą), rezystancję warstwy powierzchniowej R_p i rezystancję skrośną warstwy wewnętrznej R_v .



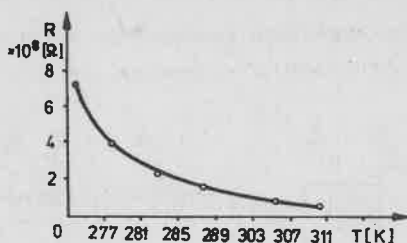
Rys. 2. Schemat zastępczy rezystancji ziarna /3/

R_k - rezystancja przejścia; R_p - rezystancja warstwy powierzchniowej;
 R_v - rezystancja skrośna

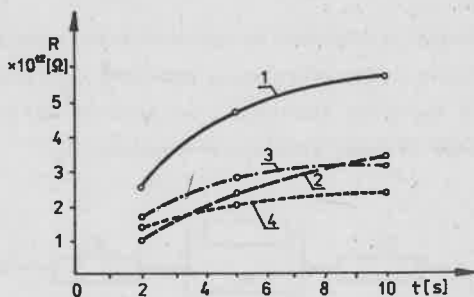
Rezystancja ziarna jest wielkością zależną od wielu czynników takich, jak temperatura, wilgotność, czy też odmiana.

Wraz ze wzrostem temperatury rezystancja maleje podobnie, jak w ciałach będących na pograniczu dielektryków i półprzewodników (rys. 3). To zjawisko tłumaczy się wzrostem ruchliwości jonów tworzących siatkę krystalograficzną ziarna.

W pracach /5, 6, 8/ zwrócono uwagę na zjawisko zależności rezystancji ziarna od czasu działania nań pola elektrycznego (rys. 4). Jest ono wywołane procesem polaryzacji, który dla różnych gatunków nasion trwa



Rys. 3. Zależność rezystancji R ziarna pszenicy od temperatury T [3/

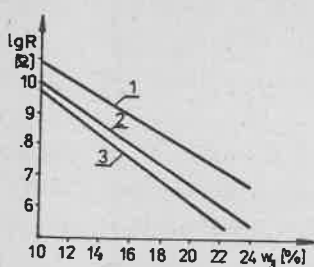


Rys. 4. Zależność rezystancji ziarna soi od czasu działania pola elektrycznego
 1 - połówki ziarenek (przekrój poprzeczny); 2 - ziarna całe; 3 - połówki ziarenek (przekrój podłużny) ustawione stroną wypukłą do elektrody uziemionej; 4 - połówki ziarenek (przekrój podłużny) ustawione stroną płaską do elektrody uziemionej

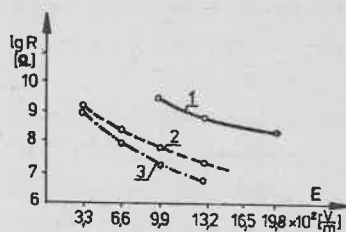
od kilku sekund do kilku minut. Po jego zakończeniu rezystancja się ustala.

Utieszew/68/ badając nasiona soi stwierdza znaczną różnicę w oporowości pomiędzy ziarnkami całymi a uszkodzonymi mechanicznie oraz niski współczynnik korelacji między wymiarami geometrycznymi, indywidualnym ciężarem pojedynczych nasion i ich rezystancją.

Bardzo duży wpływ na rezystancję nasion ma wilgotność (rys. 5). Wraz ze wzrostem wilgotności rezystancja maleje.



Rys. 5. Zależność rezystancji nasion od ich wilgotności w /3/
1 - pszenica; 2 - żyto; 3 - owies



Rys. 6. Wpływ natężenia pola elektrycznego E na rezystancję ziarna /3/
1 - pszenica; 2 - żyto; 3 - owies

Interesująco wygląda wpływ natężenia pola elektrycznego na wartość rezystancji nasion (rys. 6). Wraz ze wzrostem natężenia rezystancja maleje. Można to wytłumaczyć pojawianiem się w ziarnie w miarę wzrostu natężenia pola prądu elektronowego. Wpływ ten zarysowuje się szczególnie ostro w nasionach o dużej wilgotności ($W > 15\%$), kiedy przechodzą w stan półprzewodników /3/.

Przenikalność elektryczna nasion

Przenikalność elektryczna dielektryka ϵ opisuje makroskopowe właściwości dielektryka w polach elektrycznych o różnych częstościach. W przypadku nasion jest wielkością zespoloną:

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'', \quad (1)$$

gdzie: ϵ' - składowa rzeczywista przenikalności elektrycznej;

ϵ'' - składowa urojona przenikalności elektrycznej;

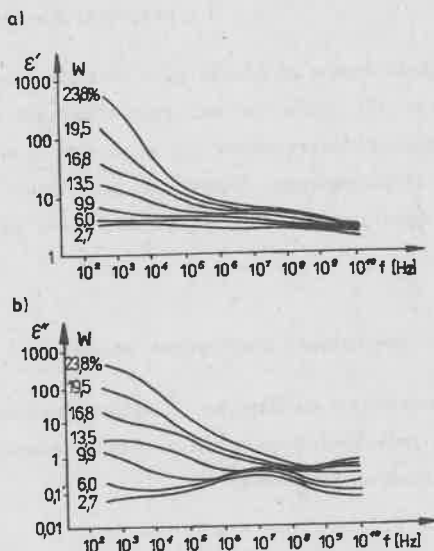
j - jednostka urojona.

W wielu pracach /7, 8, 10, 11, 16, 38, 39, 57, 66/ przedstawiono metody pomiarowe przenikalności elektrycznej dla różnych gatunków nasion. Znajomość wartości przenikalności jest konieczna przy projektowaniu wilgotnościomierzy, przyrządów mierzących jakość zbóż oraz urządzeń do

elektrostatycznego sortowania i elektrostymulacji materiału siewnego.

Gruntowne badania przenikalności elektrycznej pszenicy ozimej czerwonej prowadzono w roku 1972 na Uniwersytecie Nebraska, Lincoln. Badaniom poddano wówczas nasiona wyhodowane w latach 1968-1971 w USA w stanie Nebraska /39/.

Określono zależność części rzeczywistej ϵ' i urojonej ϵ'' od wilgotności przy częstotliwościach od 250 Hz do 12,1 GHz i temperaturze 297 K (rys. 7a). Składowa rzeczywista przenikalności bardzo silnie i niemalże liniowo zależy od wilgotności ziarna i częstości pola elektromagnetycznego. Wraz ze wzrostem częstości obniża się. Tak wyraźnej zależności od częstości i wilgotności nie obserwuje się przy składowej urojonej ϵ'' (rys. 7b).

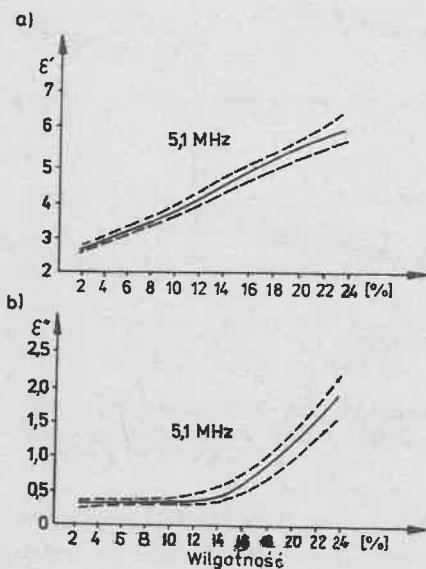


Rys. 7. Zależność względnej przenikalności elektrycznej od wilgotności W i częstości f /38/
a - składowa rzeczywista ϵ' ; b - składowa urojona ϵ''

Rzeczywista przenikalność elektryczna przy niskich częstościach i zmianie wilgotności ziarna w granicach od 6 do 19,5% wzrasta około 100 razy, a przy częstościach wysokich tylko około 2 razy. Składowa urojona przenikalności ze wzrostem częstości maleje od 10^3 do 0,1.

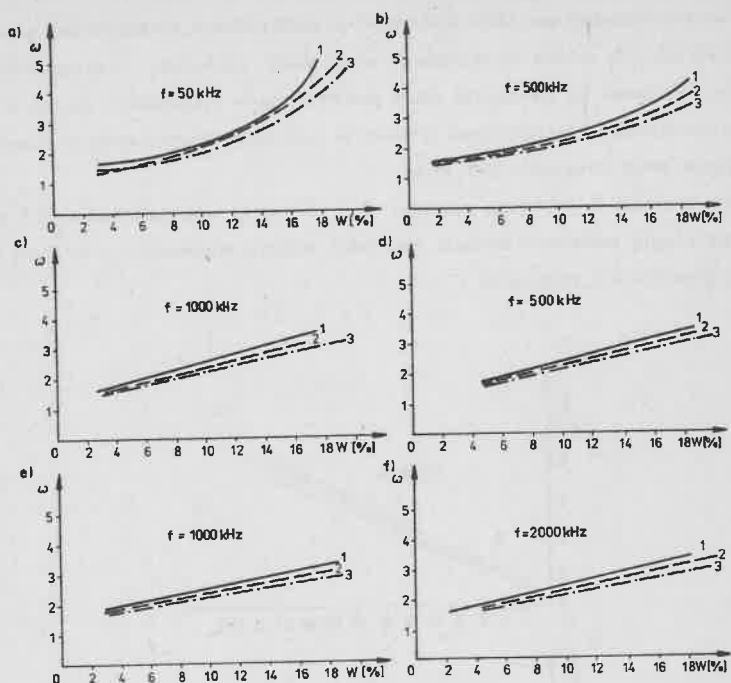
Zaobserwowano ponadto zależność przenikalności elektrycznej nasion pszenicy od ich składu chemicznego oraz masy właściwej. Szczególnie wyraźnie zależność ta występuje przy podwyższaniu wilgotności ziarna i obniżaniu częstości. Najmniejsza korelacja pomiędzy powyższymi parametrami występuje przy częstości 5,1 MHz.

Na rysunku 8 pokazano rozrzut ϵ' i ϵ'' przy częstotliwości 5,1 MHz. Krzywą ciągłą pokazano średnie wartości danych wielkości, a krzywą punktową granice ich rozrzutu.



Rys. 8. Zależność przenikalności elektrycznej od wilgotności ziarna przy stałej częstotliwości pola 5,1 MHz [38]
a - składowa rzeczywista ϵ' ; b - składowa urojona ϵ''

Biednow [7] badał przenikalność elektryczną niesortowanych nasion żyta, pszenicy i jęczmienia w zależności od częstości pola elektromagnetycznego przy różnej ich wilgotności. Wilgotność ziarna zmieniano w granicach od 5 do 20%, a częstość od 20 kHz do 20 MHz. Wyniki pomiarów przedstawia rysunek 9. Jak widzimy, przy częstościach wyższych od 1000 kHz przenikalność zależy od częstości liniowo.



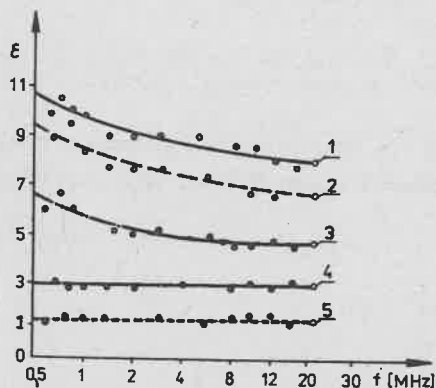
Rys. 9. Zależność przenikalności elektrycznej nasion zbóż od ich wilgotności W oraz częstotliwości pola elektromagnetycznego f [7]
1 - żyto; 2 - pszenica; 3 - jęczmień

Torosjan i Konochova [66] badali dodatkowo, oprócz pszenicy, łubin pastewny, groch, grykę i kukurydzę. Pomiary przenikalności wykonali zmieniając temperaturę w granicach $20 \pm 50^{\circ}\text{C}$ (tab. 1). Przeprowadzili również dla łubinu pastewnego zależność przenikalności elektrycznej ϵ od częstotliwości pola f (rys. 10). Jak wynika z rysunku 10, ze wzrostem f wielkość ϵ maleje, a przy obniżaniu wilgotności nachylenie krzywych się zmniejsza. Przy wilgotności $W = 30\%$ i częstotliwości $f = 0,5 \div 20 \text{ MHz}$, przenikalność ϵ nasion łubinu maleje od 9,2 do 6,8, a przy $W = 7\%$ ϵ prawie się nie zmienia i w przykładowo podanym zakresie częstotliwości wynosi 2.

Przebadano również wpływ temperatury na przenikalność elektryczną nasion łubinu pastewnego (rys. 11). Okazało się, że ze zwiększeniem tem-

Tabela 1. Zależność przenikalności elektrycznej od temperatury przy
 $W = 20\%$, $f = 5 \text{ MHz}$ /66/

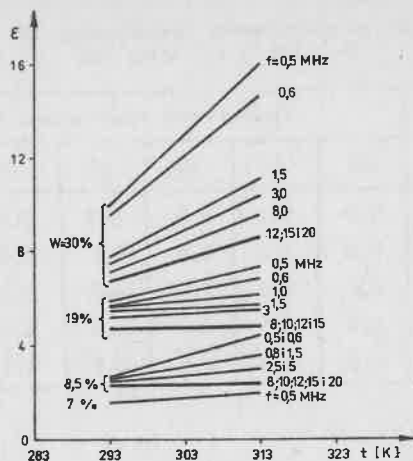
Kultura	Temperatura masy ziarna $t [^{\circ}\text{C}]$						
	20	25	30	35	40	45	50
Łubin pastewny	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6
Groch	5,0	5,4	5,8	6,2	6,8	7,2	8,0
Gryka	4,1	4,3	4,5	4,8	5,0	6,2	5,5
Kukurydza	3,0	3,5	4,0	4,4	4,7	5,1	5,5
Pszenica	4,2	4,4	4,5	4,6	4,7	4,9	5,0



Rys. 10. Zależność przenikalności ϵ od częstotliwości f dla nasion łubinu pastewnego; krzywe 1 - 5 odpowiadają kolejno wilgotnościom ziarna
 $W = 35, 30, 18, 9, 7\%$ /66/

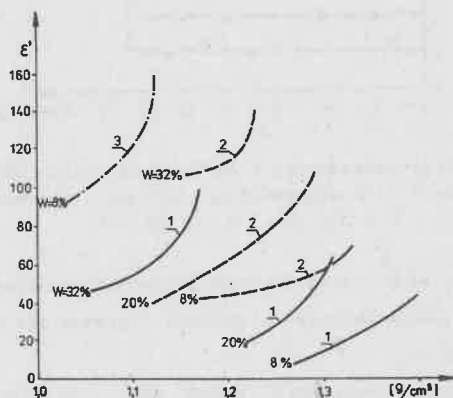
peratury ϵ wzrasta, przy tym nachylenie krzywych zmniejsza się ze wzrostem częstotliwości. W przypadku nasion suchych ϵ prawie nie zależy od częstotliwości i temperatury.

Jak wynika z przeprowadzonych badań /66/, przenikalność elektryczna ϵ nasion kukurydzy, gryki, grochu i pszenicy wzrasta wraz ze wzrostem wilgotności i temperatury (przy stałej częstotliwości f). Przy wzroście częstotliwości przenikalność się obniża.



Rys. 11. Zależność $\epsilon = f(t)$ dla nasion łubinu pastewnego o różnej wilgotności W przy różnych częstościach f /66/

W pracy Basowa /3/ przeanalizowano zależności wielkości ϵ od masy właściwej γ i wilgotności nasion W (rys. 12). Z przebiegu krzywych wynika, że:



Rys. 12. Zależność względnej przenikalności elektrycznej ϵ' (składowa rzeczywista) nasion różnych kultur rolnych od masy właściwej ziarna γ i wilgotności W /3/

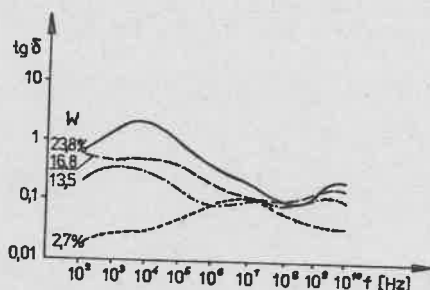
1 - pszenica; 2 - żyto; 3 - owies głuchy

- przenikalność elektryczna nasion wszystkich gatunków zbóż rośnie wraz ze wzrostem ich masy właściwej;
- najmniejszą przenikalność elektryczną mają nasiona pszenicy i żyta ($\epsilon = 20 \div 100$), a największą nasiona owsa głuchego ($\epsilon = 100 \div \infty$);
- przenikalność elektryczna w dużym stopniu zależy od wilgotności nasion i wraz z nią wzrasta.

Tangens kąta stratności nasion

Znajomość kąta stratności dielektrycznej nasion $\tan \delta$ jest konieczna przy projektowaniu dielektrycznych urządzeń suszarniczych.

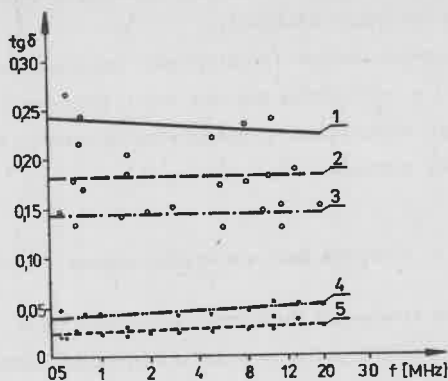
Dokładne badania tej wielkości dla pszenicy przeprowadzili Nelson i Stetson /39/. Wyniki ilustruje rysunek 13.



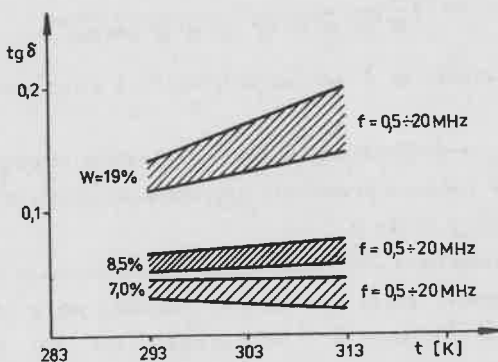
Rys. 13. Zależność $\tan \delta$ od częstotliwości f i wilgotności W /38/

Jak widać, $\tan \delta$ w przypadku pszenicy w niewielkim stopniu zależy od częstotliwości. W badanym przedziale częstotliwości ($10^2 \div 10^{10}$ Hz) waha się w granicach od 0,02 do 2.

Torosjan i Konochowa /66/ dodatkowo, oprócz pszenicy, przebadali łubin pastewny, groch, grykę i kukurydzę. Podobnie jak w /39/ potwierdziła się niewielka zależność $\tan \delta$ od częstości (rys. 14). Większy wpływ na przebieg tego współczynnika wywierają wilgotność i temperatura (tab. 2 i rys. 15). Wraz ze wzrostem obydwu tych parametrów $\tan \delta$ również wzrasta.



Rys. 14. Zależność $\text{tg } \delta$ od częstotliwości f dla nasion łubinu pastewnego przy temperaturze $t = 293 \text{ K}$ (krzywe 1, 2, 3, 4, 5. odpowiadają kolejno wilgotnościom ziarna $W = 35, 30, 18, 9, 7\%$) [38/]



Rys. 15. Zależność $\text{tg } \delta$ od temperatury i wilgotności W nasion łubinu pastewnego [38/]

Tabela 2. Zależność $\tan \delta$ od temperatury przy wilgotności $W = 20\%$ i częstotliwości $f = 5 \text{ MHz}$ /66/

Kultura	Temperatura t [$^{\circ}\text{C}$]						
	20	25	30	35	40	45	50
Łubin pastewny	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,20
Groch	0,15	0,16	0,17	0,20	0,22	0,26	0,30
Gryka	0,18	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26
Kukurydza	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30
Pszenica	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,21

Pomiar właściwości elektrycznych ziarna

Do opisu właściwości elektrycznych nasion w dotychczasowych opracowaniach /1, 3, 7, 8, 9, 21, 53, 54, 57, 60/ używa się przenikalności elektrycznej ϵ , tangensa kąta strat δ oraz przewodności elektrycznej σ . Jednak w najnowszych opracowaniach /16/ fizycy wskazują, że bardziej słuszne jest użycie w odniesieniu do dielektryków (nasiona) podatności elektrycznej χ .

Związek między podatnością elektryczną i przenikalnością elektryczną dielektryka jest następujący:

$$\chi = \epsilon - 1 \quad (2)$$

Jak wynika z powyższej definicji, obydwie wielkości - podatność i przenikalność elektryczna, pozostają wielkościami rzeczywistymi i bezwymiarowymi.

Jest to słuszne w przypadku zasilania układu prądem stałym (elektrostatyczne maszyny czyszczące i sortujące). Jednak w przypadku zasilania układu prądem zmiennym podatność i przenikalność elektryczna przyjmuje wartość zespoloną:

$$\chi = \chi' - j\chi'' \quad (3)$$

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (4)$$

gdzie: χ - zespolona podatność elektryczna;
 χ' - składowa rzeczywista podatności elektrycznej;
 χ'' - składowa urojona podatności elektrycznej;
 ξ - zespolona przenikalność elektryczna;
 ξ' - składowa rzeczywista przenikalności elektrycznej;
 ξ'' - składowa urojona przenikalności elektrycznej;
 j - jednostka urojona.

Tangens kąta stratności będzie wynosił:

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{\xi''}{\xi'} = \frac{\chi''}{\chi' + 1} \quad (5)$$

Natomiast przewodność elektryczną σ można zdefiniować jako iloczyn częstości ω i składowej urojonej podatności elektrycznej χ'' (współczynnika strat):

$$\sigma = \omega \chi'' \quad (6)$$

Pomiary zespolonej podatności elektrycznej w zakresie częstości akustycznych (od kilkudziesięciu herców do kilkuset kiloherców) przeprowadza się za pomocą mostków zmiennoprądowych (np. mostek Wiena, Scheringa itp.). Pomiar podatności w zakresie częstości od setek kiloherców do kilkudziesięciu megaherców wykonuje się metodami radiowymi (np. metoda rezonansowa, dudnieniowa, fazowa, impulsowa itd. /16/).

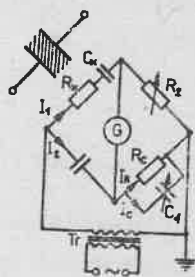
Mostek Scheringa

Schemat mostka Scheringa przedstawia rysunek 16. Mostek zawiera wysokonapięciowy powietrzny kondensator wzorcowy C_w o pomijalnie małym kącie stratności.

Stan równowagi mostka osiąga się przez kolejne nastawianie oporności R_2 i pojemności C_4 . W stanie równowagi mostka zachodzi zależność:

$$j\omega C_w R_x R_4 + \frac{C_w}{C_x} R_4 = R_2 + j\omega C_4 R_4 R_2, \quad (7)$$

Rys. 16. Schemat ideowy mostka Scheringa /16/



z której otrzymuje się dwa warunki równowagi:

$$C_w R_x R_4 = C_4 R_4 R_2, \quad (8)$$

$$\frac{C_w}{C_x} R_4 = R_2. \quad (9)$$

Wynika z nich, że

$$\operatorname{tg} \delta_x = \omega C_w R_4. \quad (10)$$

Składowa rzeczywista podatności elektrycznej dana jest równaniem:

$$x' = \frac{C - C_o}{C_o}, \quad (11)$$

gdzie: C_o - pojemność zerowa kondensatora pomiarowego C_x w próżni (powietrzu);

C - pojemność kondensatora pomiarowego C_x po napełnieniu go dielektrykiem (ziarnem).

Po wyznaczeniu x' , z zależności:

$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{x''}{x' + 1} = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}, \quad (12)$$

można wyznaczyć x'' :

$$x'' = \epsilon'' = (x' + 1) \omega C_4 \cdot R_4 = \epsilon' \omega C_4 R_4 \quad (13)$$

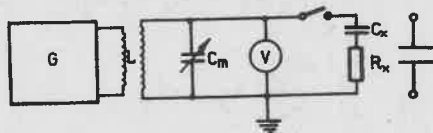
oraz przewodność σ :

(14)

$$\sigma = \omega \chi''.$$

Metoda rezonansowa

Schemat ideowy układu do pomiaru zespolonej podatności elektrycznej metodą rezonansową jest przedstawiony na rysunku 17 /16/. Składa się on z generatora drgań G o ustalonej częstotliwości ω , kondensatora mierzącego C_m o pomijalnie małych stratach oraz kondensatora C_x z badanym dielektrykiem.



Rys. 17. Schemat ideowy układu do pomiaru podatności elektrycznej metodą rezonansową /16/

Pomiar sprowadza się do dołączenia do obwodu drgającego LC_m kondensatora z badanym dielektrykiem (ziarnem) i dostrojeniu za pomocą kondensatora mierzącego C_m , częstotliwości drgań własnych obwodu drgającego do częstotliwości generatora (przywrócenie rezonansu).

Składowe podatności elektrycznej należy wyznaczyć ze wzorów:

$$\chi' = \frac{C}{C_0 [1 + (\omega R C_x)^2]} - 1, \quad (15)$$

$$\chi'' = \frac{\omega R C^2}{C_0 [1 + (\omega R C)^2]}, \quad (16)$$

$$\operatorname{tg} \sigma = \omega R C. \quad (17)$$

Jak widzimy, przedstawiona metoda pomiaru jest prosta. Dokładność pomiaru ogranicza tylko jakość kondensatora mierzącego C_m .

ELEKTRYCZNY MODEL ZIARNA

Przy konstruowaniu elektrycznych przyrządów do pomiaru wilgotności i jakości towarowej zboża, przy projektowaniu urządzeń do suszenia dielektrycznego, dezynsekcji, elektrostatycznego czyszczenia i elektrostymulacji ziarna konieczna jest znajomość modelu elektrycznego (schematu zastępczego) ziarna. Zadaniem takiego modelu jest wierne odzwierciedlenie przebiegu zależności elektrycznych właściwości pojedynczego ziarna lub masy ziaren oraz przebiegu procesów fizycznych zachodzących w nich podczas przebywania w polu elektromagnetycznym.

Do analitycznych wyrażeń opisujących schematy zastępcze i właściwości nasion wchodzi w miejsce rezystancji R i pojemności C rezystancja właściwa ρ i przenikalność elektryczna ξ :

$$\sigma = k R; \quad \xi = \frac{1}{\xi_0 k} \cdot C, \quad (18)$$

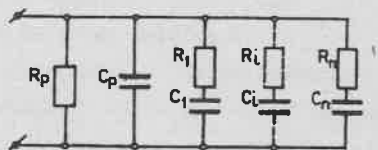
gdzie: k - współczynnik zależny od wymiarów geometrycznych przestrzeni, w której znajduje się masa ziarna;

ξ_0 - przenikalność elektryczna próżni.

Jak wykazała praktyka, użycie parametrów ξ i ρ lub $\sigma = 1/\rho$ jest wygodne podczas kontroli właściwości badanego materiału.

Jak wykazały badania [9], σ i ξ jest najdokładniej odwzorowywane w ziarnie przez model przedstawiony na rysunku 18. Rezystancja R_p odzwierciedla konduktywność powierzchniową i skrośną przy prądzie stałym.

Rys. 18. Elektryczny schemat zastępczy ziarna [9/



Pojemność C_p przedstawia pojemność masy ziarna przy $\omega \rightarrow \infty$ (gdzie ω - częstość kołowa pola elektrycznego). Szeregowo połączone elementów R_i , C_i modeluje proces relaksacyjny określony polaryzacją poszczególnych komponentów ziarna (ziarno charakteryzuje się niejednorodnością

struktury i różnorodnością składników wchodzących w jego skład).

Do obliczeń praktycznych rozpatrywany model (schemat zastępczy, rys. 16) powinien mieć skończoną liczbę gałęzi $R_1 C_1$. Dla częstości pola elektromagnetycznego do 10^{10} Hz można ograniczyć się do trzech: $R_1 C_1$, $R_2 C_2$, $R_3 C_3$. Wtedy charakterystyki częstotliwościowe przyjmują postać:

$$\xi = \xi_{\infty} + \frac{\xi_1}{1 + \omega^2 \tau_1^2} + \frac{\xi_2}{1 + \omega^2 \tau_2^2} + \frac{\xi_3}{1 + \omega^2 \tau_3^2}, \quad (19)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho_p} + \frac{\omega^2 \xi_0 \xi_1 \tau_1}{1 + \omega^2 \tau_1^2} + \frac{\omega^2 \xi_0 \xi_2 \tau_2}{1 + \omega^2 \tau_2^2} + \frac{\omega^2 \xi_0 \xi_3 \tau_3}{1 + \omega^2 \tau_3^2}, \quad (20)$$

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{\sigma}{\omega \xi_0 \xi}, \quad (21)$$

gdzie: $\xi_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \left[\frac{\text{F}}{\text{m}} \right]$;

ξ_{∞} - względna przenikalność elektryczna masy ziarna przy $\omega \rightarrow \infty$;

ρ_p - rezystancja właściwa masy ziarna przy prądzie stałym $[\Omega \cdot \text{m}]$;

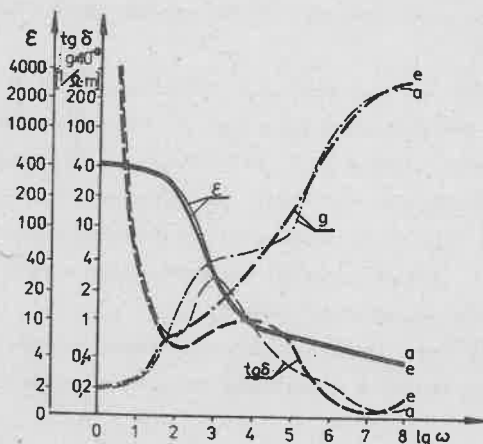
$\tau_1 = \xi_0 \xi_1 \rho_1$, $\tau_2 = \xi_0 \xi_2 \rho_2$, $\tau_3 = \xi_0 \xi_3 \rho_3$ - relaksacyjne czasy polaryzacji międzywarstwowej, strukturalnej i jonowej wywołane warstwową makro - i mikroniejednorodnością ziarna;

ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 - względne przenikalności elektryczne odpowiadające podanym wyżej niejednorodnościom ziarna.

Wszystkie rodzaje niejednorodności, a szczególnie warstwowa, są przyczyną gromadzenia znacznych ładunków na poszczególnych granicach części ziarna o różnych właściwościach. Duża niejednorodność ziarna i jego struktura warstwowa powodują rezystancję ziarna, a tym samym powolne ładowanie i rozładowywanie się ziaren.

Wartości parametrów tworzących poszczególne wyrazy równań (19) i (20) zależą od temperatury t i wilgotności W masy ziarna, a także od natężenia H pola elektrycznego.

Jak widać z rysunku 19, istnieje duża zgodność eksperymentalnej charakterystyki częstotliwościowej i obliczeniowej dla ϵ oraz nieco gorsza dla σ i $\operatorname{tg} \delta$, szczególnie przy częstościach 0,1-10 kHz. Żeby zmniejszyć rozbieżności między krzywymi teoretycznymi i eksperymentalnymi, należy do schematu zastępczego dołączyć jeszcze jedną gałąź równoległą $R_4 C_4$ i rozbudować równania (19) i (20).



Rys. 19. Logarymiczne charakterystyki częstotliwościowe ϵ , g i $\operatorname{tg} \delta$ dla masy ziarna pszenicy przy wilgotności $W = 18\%$ i temperaturze $t = 293\text{ K}$ dla modelu z rysunku 16 /9/

e - zmierzone eksperymentalnie; a - obliczone analitycznie

ZACHOWANIE SIĘ NASION W POLU ELEKTRYCZNYM

Czynnikiem decydującym o zachowaniu się nasion w polu elektrycznym jest wielkość zgromadzonego w nich ładunku elektrycznego w procesie elektryzacji (lub momentu dipolowego powstającego podczas polaryzacji). Jeżeli założymy dla wszystkich nasion jednakowe warunki elektryzacji (polaryzacji), to ładunek elektryczny zgromadzony przez poszczególne ziarna (moment dipolowy) będzie ściśle zależał od ich wymiarów geometrycznych, wewnętrznej budowy biologicznej, składu chemicznego, wilgotności itp. Będzie więc czynnikiem pozwalającym na zróżnicowanie nasion w polu elektrycznym.

Elektryzowanie nasion

Elektryzowanie tarciove

Najprostszym i najstarszym sposobem ładowania nasion ładunkiem elektrycznym jest "elektryzowanie przez tarcie" /46/. Mechanizm tej metody elektryzowania nie jest dotychczas dokładnie poznany. Wiadomo tylko, że elektrony z powierzchni granicznej jednego ciała przechodzą podczas tarcia na powierzchnię ciała drugiego. W ten sposób obydwa elektryzują się różnoimiennie.

Murmancew /36/ stosując powyższą metodę prowadził eksperymenty z nasionami cebuli. Doświadczenia wykazały, że nasiona cebuli i chwastów towarzyszących cebuli zyskują największy ładunek w przypadku, kiedy materiałem powierzchni tarcia jest ebonit lub szkło organiczne. Skuteczność procesu ładowania się nasion przez tarcie w dużym stopniu zależy od wilgotności powietrza. Przy wilgotności względnej powietrza $W \geq 85\%$ praktycznie tego sposobu stosować nie możemy.

Z uwagi na niewielki ładunek uzyskiwany przez nasiona innych kultur rolnych w procesie tarcia ta metoda elektryzacji nie znalazła szerszego zastosowania.

Elektryzowanie dotykowe

Ten sposób elektryzacji polega na tym, że ziarno stykając się bezpośrednio z jedną z metalowych elektrod (spolaryzowanych) przejmuje od niej ładunek. Ziarna z większą przewodnością ładują się szybciej niż te z gorszą i odpychają się od elektrody. Ziarna o małej przewodności elektrycznej nie przyjmują ładunku.

Metoda ta może znaleźć zastosowanie do rozdzielania poszczególnych ziaren ze względu na różnice w wilgotności, które decydują o ich przewodności elektrycznej.

Elektryzowanie nasion w zjonizowanym polu elektrycznym

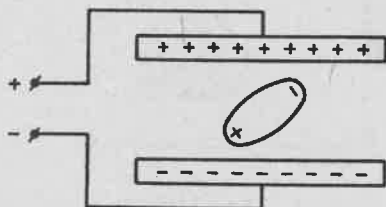
Najszybciej i najskuteczniej elektryzują się nasiona w silnym polu elektrycznym, w którym występuje wyładowanie ulotowe.

Podczas wyładowania ulotowego wokół elektrody ostrzowej (ulotowej) powstają naładowane cząsteczki - elektrony swobodne oraz jony dodatnie i ujemne powstałe w wyniku jonizacji cząstek powietrza. W zależności od tego, czy elektroda ostrzowa jest połączona z biegunem ujemnym czy dodatnim, przestrzeń międzyelektrodowa wypełnia się jonami bądź to ujemnymi, bądź dodatnimi.

Badania wykazały [72], że przy potencjale ujemnym na elektrodzie ostrzowej wyładowanie ulotowe powstaje przy napięciach niższych niż przy polaryzacji odwrotnej. Dlatego w praktyce elektroda ostrzowa jest z reguły spolaryzowana ujemnie, a powstające jony mają również ładunek ujemny. Jony przemieszczające się do elektrody uziemionej (dodatniej) obdarzają swoim ładunkiem nasiona wprowadzone w przestrzeń międzyelektrodową. Nasiona te po naelektryzowaniu pod działaniem pola również przemieszczają się w kierunku elektrody dodatniej.

Polaryzacja dielektryczna nasion

Jeżeli wprowadzimy ziarno w pole elektryczne (niezjonizowane - pozbawione ładunków elektrycznych) to ulegnie ono polaryzacji. Zjawisko to polega na pojawieniu się ładunków elektrycznych na powierzchni ziarna. Rysunek 20 przedstawia to w sposób obrazowy. Ładunki te są zwane ładunkami



Rys. 20. Spolaryzowane ziarno w polu elektrycznym

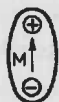
mi indukowanymi. Wytwarzają one w ziarnie (dielektryku) pole o kierunku przeciwnym do pola zewnętrznego, zwane polem depolaryzacji. Ziarno staje się "dipolem elektrycznym" zakłócającym pole zewnętrzne.

Wykorzystanie zjawisk elektryzowania i polaryzacji w procesach czyszczenia i sortowania nasion

Zachowanie się nasion spolaryzowanych w polu elektrostatycznym

Ziarno po spolaryzowaniu w polu elektrycznym tworzy "dipol elektryczny" (rys. 21). Na ten dipol działa moment:

$$M_e = M \times E_x, \quad (22)$$

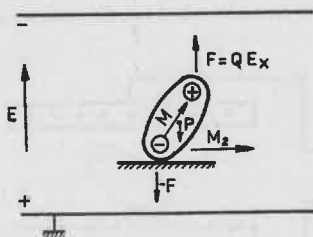


Rys. 21. Ziarno jako dipol elektryczny

kierujący go zgodnie z polem (rys. 22),

gdzie: M - całkowity moment elementarnych dipoli elektrycznych ziarna;

E_x - pole lokalne (różni się od pola zewnętrznego E).



Rys. 22. Moment sił działający na ziarno (dipol) umieszczone w polu elektrycznym

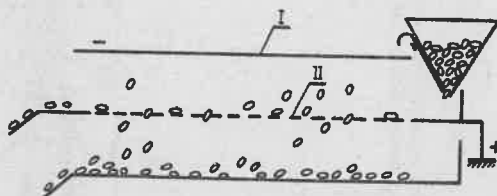
W procesie orientacji ziarna na płaszczyźnie pod działaniem momentu M_e zmianie jego położenia (obracaniu się) przeciwdziałają moment oporowy M_p pochodzący od siły ciężenia P . Zorientowanie się ziarna dłuższą osią wzdłuż linii sił pola może nastąpić, jeśli

$$M_e > M_p.$$

Natężenie E pola elektrostatycznego, przy którym ten warunek zachodzi, nazywa się natężeniem orientacji /15/.

Jest oczywiste, że przy określonym natężeniu pola część nasion ze względu na swoje właściwości ulegnie orientacji, a część nie zmieni swojego położenia. Wykorzystanie tego zjawiska daje możliwość rozdzielania nasion. Na tej zasadzie oparto budowę elektrostatycznych czyszczalni sitowych /3, 12, 15, 22/.

Schemat takiej czyszczalni przedstawia rysunek 23.



Rys. 23. Schemat elektrycznej czyszczalni sitowej /3/
I - elektroda płaska (-); II - sito (+)

Dolną elektrodę stanowi sito. W czasie pracy jest ono wprowadzone w ruch drgający. Ziarna zorientowane pionowo (wzdłuż linii sił) przelecają przez otwory sita z większym prawdopodobieństwem niż niezorientowane i w ten sposób ziarna zostaną od siebie oddzielone.

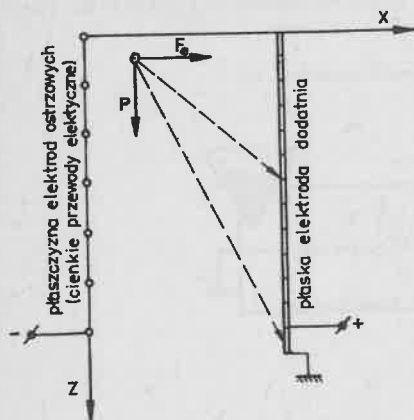
Zachowanie się w polu elektrycznym nasion naelektryzowanych

Naelektryzowanie nasion przed procesem ich czyszczenia (sortowania) w polu elektrostatycznym pozwala na wyeliminowanie z konstrukcji czyszczalni elektrostatycznej sita, a przez to i uproszczenie budowy. Ze względu na ukształtowanie przestrzeni międzyelektrodowej urządzenia czyszczącego i charakter występujących sił możemy wyróżnić dwa zasadnicze rozwiązania:

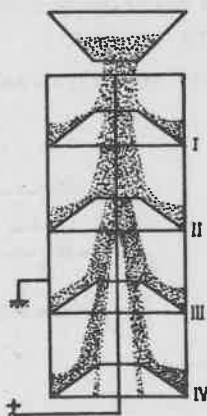
- czyszczalnia bębnowa /3, 24, 25, 35/,
- czyszczalnia komorowa /3, 44, 54/.

Czyszczalnie komorowe należą do najprostszych czyszczalni jonizacyjnych. Ze względu na układ elektrod rozróżniamy czyszczalnie:

- płaską (rys. 24),
- cylindryczną (rys. 25).



Rys. 24. Schemat czyszczalni komorowej o płaskim układzie elektrod /3/



Rys. 25. Schemat elektrostatycznej czyszczalni rurowej z wyładowaniem ulotowym /55/

Ziarno spadające w obszar zjonizowanego pola elektrostatycznego takiego układu ulega elektryzacji, wskutek czego jego tor jest uwarunkowany wielkością siły ciężkości:

$$P = mg, \quad (23)$$

i siły ponderomotorycznej:

$$F_e = q \cdot E, \quad (24)$$

gdzie: m - masa ziarna;

g - przyspieszenie ziemskie (wektor);

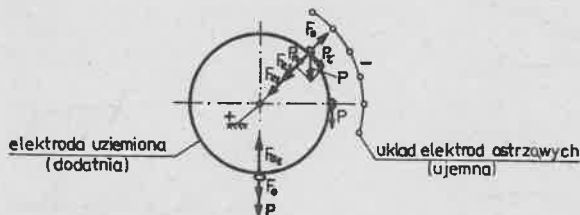
q - ładunek zgromadzony na ziarnie;

E - natężenie pola elektrycznego (wektor).

Na wielkość siły F_e wpływa ładunek q , którego wartość zależy od właściwości ziarna, a więc jego wymiarów geometrycznych, ciężaru właściwego, przenikalności elektrycznej, przewodności itp.

Przy zadanym polu elektrycznym tor lotu cząstki określony jest tylko jej właściwościami. W zależności od nich cząstka upadnie wyżej lub niżej, co daje możliwość rozdzielenia cząstek w polu elektrycznym.

Schemat czyszczalni typu bębnowego przedstawia rysunek 26.



Rys. 26. Schemat czyszczalni typu bębnowego /55/

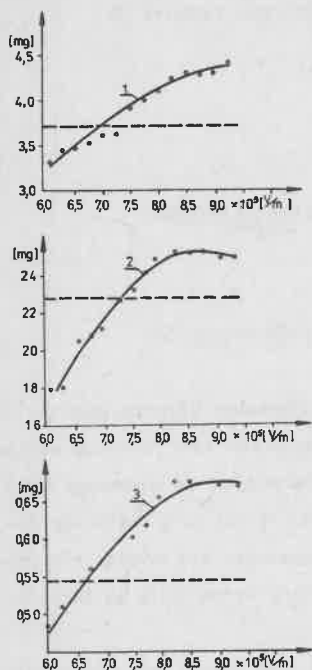
W przestrzeni międzyelektrodowej powstaje wyładowanie ulotowe między elektrodami, wykonanymi z cienkiego drutu (pełniącymi rolę elektrod ostrzowych ułatwiających jonizację powietrza) i przyłączonymi do ujemnego bieguna zasilacza wysokiego napięcia, a bębniem pełniącym rolę elektrody dodatniej. Jony powstałe z cząstek powietrza poruszając się między elektrodami osiadają na napotkanych po drodze ziarnach i wytwarzają na nich ładunek.

Zasada działania tego typu czyszczalni jest taka sama, jak czyszczalni komorowej. Nieco bardziej złożony jest układ sił. Oprócz sił P i F_{e1} , dodatkowo występuje siła odśrodkowa F_o i siła F_{e2} oddziaływań pomiędzy naładowaną cząstką a bębniem stanowiącym elektrodę dodatnią.

Wyniki niektórych badań nad procesami rozdzielczymi w polu elektrycznym

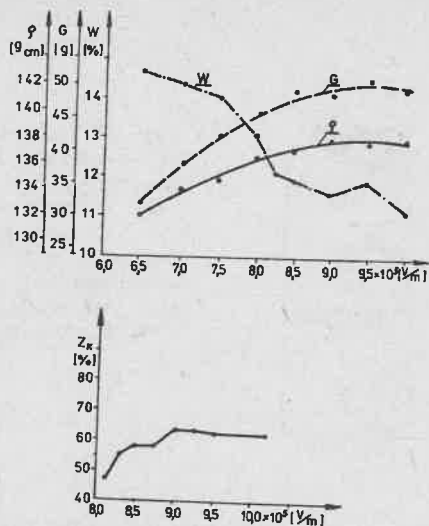
Jak wynika z poprzednich rozważań, zmienność cech elektrycznych poszczególnych nasion wpływa na różnicowanie ich zachowania w polu elektrycznym, powodując ich orientację względem linii sił pola lub przesunięcia w przestrzeni międzyelektrodowej.

Badania podstawowe w tym zakresie przeprowadzili Budzko i Borodin /13, 14/. Umieszczając nasiona pszenicy w polu elektrostatycznym o natężeniu regulowanym skokowo od $6,5 \cdot 10^5$ do $10,5 \cdot 10^5$ V/m uzyskali 11 frakcji różniących się natężeniem orientacji. Określenie niektórych cech fizycznych i składu chemicznego wykazało, że istnieją znaczne rozbieżności tych parametrów w przypadku nasion poszczególnych frakcji (rys. 27).

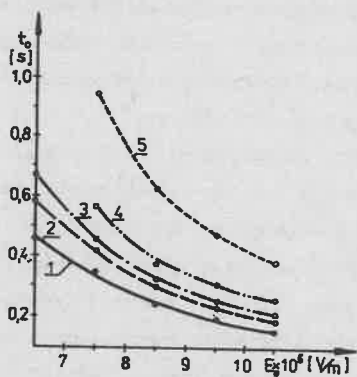


Rys. 27a. Zmiany składu chemicznego pojedynczych nasion o różnym natężeniu orientacji w polu elektrycznym
1 - białko; 2 - skrobia; 3 - popiół;
krzywe przerywane oznaczają zawartość średnią poszczególnych składników

Dalsze badania w tym zakresie /14/ prowadzone metodami szybkiego filmowania pozwoliły na empiryczne ustalenie związków między natężeniem pola powodującym orientację nasion, a czasem koniecznym do ich zorientowania przy różnych wartościach natężenia pola (rys. 28). Na podstawie tego Taruszkina i Bażenowa /64/ wykazali, że możliwe jest wykorzystanie różnic w orientacji nasion w polu elektrycznym do rozdzielania mieszaniny nasion rzodkiewki i towarzyszącego jej chwastu ambrozji. Wstępne badania porównawcze niektórych cech fizycznych tych dwóch roślin wykazały, że rozdzielanie ich pod względem różnic w długości nasion i prędkości krytycznej (w stru-

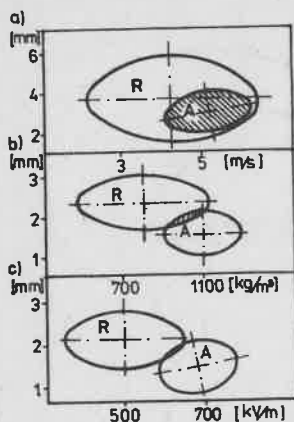


Rys. 27b. Zmienność cech fizycznych φ , G , W i zdolności kiełkowania Z_k nasion o różnym natężeniu orientacji w polu elektrycznym [13/



Rys. 28. Zależność czasu orientowania t_o od natężenia pola elektrycznego E_0 [14/]. Frakcje nasion o natężeniu orientacji: 1 - 610 kV/m; 2 - 630 kV/m; 3 - 649 kV/m; 4 - 670 kV/m; 5 - 730 kV/m

mieniu powietrza) jest niemożliwe (rys. 29a). Również separacja pod względem różnic grubości i ciężaru właściwego tych nasion jest niezbyt skuteczna (rys. 29b). Badania z zastosowaniem pola elektrycznego wykazały, że



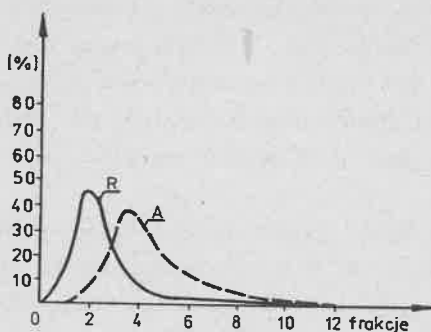
Rys. 29. Pełne elipsy rozkładu nasion rzodkiewki R i ambrozji A separowanych pod względem niektórych cech fizycznych i natężenia orientacji /64/

Separacja pod względem:
a - długości i szybkości krytycznej;
b - grubości i gęstości; c - grubości i natężenia orientacji

układ technologiczny rozdziału pod względem grubości i orientacji w polu elektrycznym jest najbardziej korzystny, gdyż elipsy rozrzutu tych cech nie pokrywają się (rys. 29c).

Na podstawie wyników badań laboratoryjnych Taruszkina /63/ opracował praktyczną metodę oczyszczania rzodkiewki od ambrozji z wykorzystaniem połączonych metod tradycyjnego czyszczenia (separacja pod względem grubości) i elektroseparatoracji (rozdzielenie pod względem różnic w natężeniu orientacji). Mieszaninę nasion rzodkiewki i ambrozji poddano obróbce na czyszczalniach sitowych i pneumatycznych. Następnie odpady, w których znajdowało się średnio 1994 szt./kg nasion rzodkiewki poddano czyszczeniu w polu elektrycznym o natężeniu $7,5 \cdot 10^5$ V/m. Przepływ masy odbywał się z prędkością 11,5 m/s przy odległości elektrody 4 mm. W wyniku tego czyszczenia uzyskano 12 frakcji nasion rzodkiewki i 11 frakcji nasion ambrozji. Ponieważ krzywa rozkładu frakcji nasion ambrozji (rys. 30) jest przesunięta w stosunku do krzywej frakcji rzodkiewki, w wyniku dwukrotnego procesu oczyszczania w polu elektrycznym zdołano odzyskać 54,5% nasion odrzuconych w konwencjonalnych metodach czyszczenia.

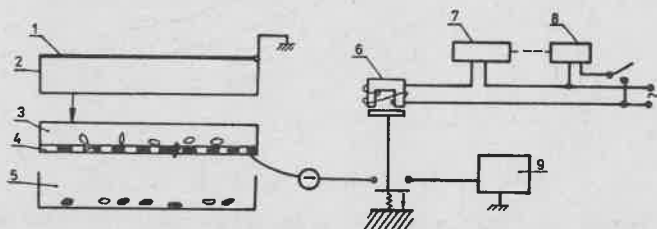
Zastosowanie natężenia orientacji jako czynnika procesu rozdzielczego pozwoliło także rozwiązać trudny problem oddzielania nasion owsa od owsa głuchego. Metody konwencjonalnego czyszczenia mieszaniny nasion tych



Rys. 30. Procentowa zawartość rzodkiewki R i ambrozji A w poszczególnych frakcjach uzyskiwanych podczas separacji w polu elektrycznym /63/

kultur są mało skuteczne ze względu na dużą zbieżność ich właściwości fizycznych.

Szmigiel /58/ opracował technologię oddzielania owsa głuchego z zastosowaniem sita vibracyjnego i pola elektrycznego o zmiennym rozkładzie w szczelinie powietrznej (rys. 31). Czyszczeniu według tej technologii poddawano owies odmiany Orzeł wstępnie oczyszczony w czyszczalniach sitowo-pneumatycznych 0545 i Petkus-Gigant. Badania procesu rozdziału na powyższym urządzeniu wykazały, że ze wzrostem ilości zanieczyszczeń wy-

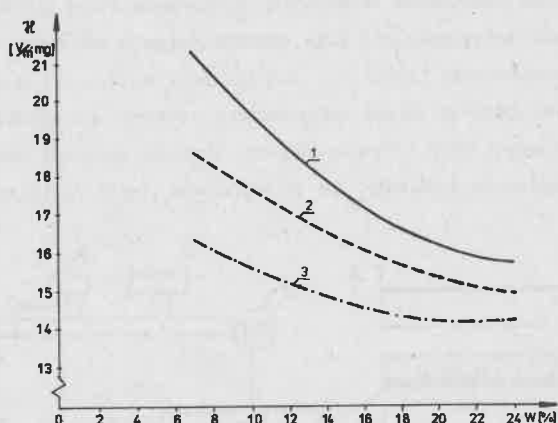


Rys. 31. Schemat urządzenia do oddzielania nasion owsa od owsa głuchego /58/

1 - elektroda uziemiona; 2 - warstwa dielektryka; 3 - ramka ograniczająca; 4 - elektroda (sito) z otworami; 5 - pojemnik na odpady; 6 - łącznik wysokiego napięcia; 7 - bęben programujący; 8 - silnik; 9 - generator wysokiego napięcia

dłuża się czas czyszczenia. Przy natężeniu pola $7,5 \cdot 10^5$ V/m całkowite wydzielenie nasion owsa głuchego następuje w czasie 20 s. Przy zwiększaniu natężenia pola do wartości $15 \cdot 10^5$ V/m stopień oczyszczenia początkowo maleje ($12,5 \cdot 10^5$ V/m), a następnie wzrasta. Metoda czyszczenia z wykorzystaniem pola elektrycznego pozwoliła w tym przypadku uzyskać całkowite wydzielenie owsa głuchego przy stratach kultury uprawnej (owsa) wynoszących 18-25%.

Pole elektryczne można również stosować do czyszczenia nasion o kształtach zbliżonych do kulistego. W tym przypadku znajduje zastosowanie zjawisko przemieszczania się nasion w przestrzeni międzyelektrodowej pod wpływem pola elektrycznego o określonym natężeniu. Natężenie pola, przy którym następuje odrywanie nasion od elektrody jest zależne od cech fizycznych i składu chemicznego. Dąbrowski /18/ prowadząc badania kłębków buraków cukrowych wielonasiennych preparowanych mechanicznie stwierdził, że natężenie pola elektrycznego, przy którym następuje oderwanie kłębka od powierzchni elektrody jest zależne od liczby nasion w kłębku (rys. 32).



Rys. 32. Zmiany masowego wskaźnika granicznego natężenia orientacji kłębków buraków cukrowych preparowanych o różnej zawartości nasion w zależności od wilgotności kłębków W /18/

1 - kłębki jednonasienne; 2 - kłębki dwunasienne; 3 - kłębki trzynasienne

Różnice w wartości tego natężenia dla kłębków o różnej zawartości nasion ulegają zmianom w zależności od wilgotności kłębków. Wzrost wilgotności powoduje zmniejszenie różnic. Zjawisko różnicowania kłębków w polu elek-

trycznym w zależności od zawartości nasion może zostać wykorzystane do czyszczenia kłębów w procesie mechanicznego preparowania.

Wyniki uzyskane w badaniach laboratoryjnych już obecnie znajdują zastosowanie praktyczne. Wyraźne polepszenie selekcji i istotne zmniejszenie strat to główne czynniki, które przemawiają za coraz szerszym wdrażaniem metod elektrostatycznego czyszczenia i sortowania do praktyki.

WPŁYW POLA ELEKTRYCZNEGO NA WŁAŚCIWOŚCI BIOLOGICZNE NASION

Drugim sposobem wykorzystania pola elektromagnetycznego, oprócz zastosowania go do czyszczenia jest zastosowanie w procesach obróbki przed-siewnej nasion. Obejmuje ona dwa główne procesy:

- separację w celu podwyższenia wartości siewnej nasion;
- stymulacyjne działanie energii pól elektromagnetycznych w celu podwyższenia wartości siewnej nasion i wzrostu plonu.

Oba te procesy są ściśle ze sobą związane, gdyż separacja dla podwyższenia wartości siewnej, jako związana z oddziaływaniem energii pól elektromagnetycznych, będzie wywoływać mniejsze lub większe efekty stymulacyjne.

Matthes i Boyd /35/ prowadząc sortowanie nasion zbóż w polu elektrycznym ze wstępnym ładowaniem w polu wyładowania ulotowego uzyskiwali trzy frakcje różniące się zdolnością kiełkowania (tab. 3). Procentowy rozkład nasion we frakcjach oraz ich zdolność kiełkowania były zależne od natężenia pola elektrycznego i intensywności ładowania.

Podobne badania prowadził Dąbrowski /18/ w odniesieniu do kłębów buraków cukrowych genetycznie jednonasiennych. Prowadząc rozdział kłębów na frakcje w polu elektrycznym ze wstępnym ładowaniem w polu wyładowania ulotowego uzyskał wzrost zdolności kiełkowania o 12% w stosunku do materiału kontrolnego, przy czym liczebność frakcji odpadowej nie przekraczała 30%. Podobne rezultaty uzyskał Szapowałow /55/. Wykazał on, że przy zastosowaniu sortowania kłębów buraków cukrowych w polu elektrycznym ze wstępnym ładowaniem możliwe jest uzyskanie zdolności kiełkowania do 98%, jednak wielkość frakcji odpadowej dochodzi wówczas do 85-88%, a więc taki proces jest nieekonomiczny. Táruszkin /65/ prowadził

Tabela 3. Żywotność nasion koniczyzny czerwonej po trzykrotnym sortowaniu w separatorze elektrostatycznym /35/

Próba nr	Materiał wyjściowy	Separator elektrostatyczny			
		Sortowanie			
		I	II	III	
		odchylo- ne	odchylo- ne	odchylo- ne	przyciąg- nięte
C10 Procent kiełkow. Procent całości	80	64 (7)	60 (12)	74 (14)	90 (67)
C11 Procent kiełkow. Procent całości	72	52 (23)	68 (23)	67 (17)	88 (37)
C12 Procent kiełkow. Procent całości	76	52 (13)	63 (13)	74 (26)	90 (48)
C13 Procent kiełkow. Procent całości	82	60 (14)	72 (11)	79 (22)	92 (53)
C14 Procent kiełkow. Procent całości	68	56 (25)	52 (20)	68 (18)	86 (37)

badania nad sortowaniem w polu elektrycznym nasion lnu. Uzyskał on 12 frakcji różniących się zarówno niektórymi cechami fizycznymi, jak i zdolnością kiełkowania (tab. 4).

Tabela 4. Wskaźniki uzyskane w wyniku elektroseparatoracji nasion lnu /65/ (dane w liczniku dotyczą odmiany lnu L-1120, a w mianowniku odmiany WNIIL-11)

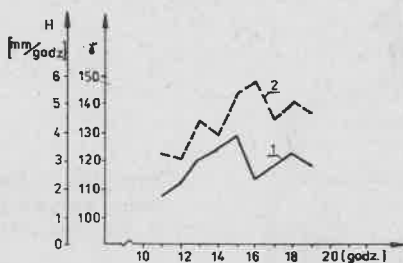
Wskaźnik	Partia kontrolna	Nr frakcji							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Rozdział materiału wejściowego na frakcje [%]	$\frac{100}{100}$	$\frac{1,8}{0,5}$	$\frac{1,3}{10,1}$	$\frac{3,2}{34,1}$	$\frac{10,5}{18,0}$	$\frac{17,6}{10,7}$	$\frac{20,3}{9,6}$	$\frac{15,3}{7,8}$	$\frac{12,4}{4,9}$
Masa 1000 nasion [g]	$\frac{2,98}{3,59}$	$\frac{2,86}{3,69}$	$\frac{3,0}{3,9}$	$\frac{3,3}{3,6}$	$\frac{3,3}{3,5}$	$\frac{3,1}{3,4}$	$\frac{2,91}{3,47}$	$\frac{2,79}{3,5}$	$\frac{2,83}{3,54}$
Wilgotność [%]	$\frac{7,9}{9,9}$	$\frac{6,5}{7,0}$	$\frac{6,1}{9,8}$	$\frac{6,7}{10,1}$	$\frac{7,9}{10,0}$	$\frac{8,7}{9,8}$	$\frac{8,8}{9,6}$	$\frac{8,1}{8,9}$	$\frac{7,7}{8,8}$
Energia kiełkowania [%]	$\frac{88}{69}$	$\frac{86}{68}$	$\frac{89}{83}$	$\frac{92}{78}$	$\frac{95}{75}$	$\frac{93}{67}$	$\frac{91}{70}$	$\frac{87}{69}$	$\frac{79}{69}$
Zdolność kiełkowania [%]	$\frac{89}{75}$	$\frac{87}{71}$	$\frac{90}{88}$	$\frac{93}{80}$	$\frac{95}{79}$	$\frac{94}{71}$	$\frac{93}{75}$	$\frac{87}{73}$	$\frac{81}{76}$

O wiele lepsze rezultaty są osiągane przy stosowaniu stymulacyjnego działania energii elektromagnetycznej na nasiona w obróbce przedsiewnej i rośliny w różnych etapach organogenezy. Działania z tym związane obejmują stałe pole magnetyczne, stałe pole elektryczne, pole elektryczne prądu przemiennego i przepływ prądu elektrycznego.

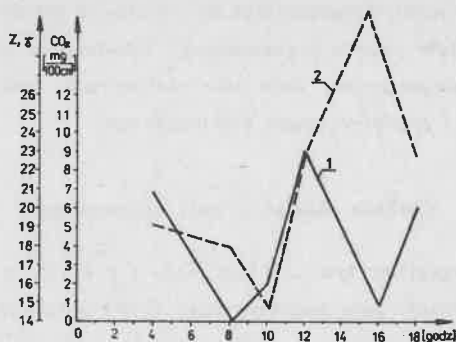
Obróbka nasion w polu magnetycznym

Wszystkie organizmy żywe, w tym także i rośliny, w procesie ewolucji podlegały działaniu pola magnetycznego Ziemi będącego jednym z czynników środowiska zewnętrznego. Dlatego też wydaje się, iż zmienność tego czynnika może wywierać znaczny wpływ na rozwój organizmów. Hipotezę tę potwierdzają liczne badania [17, 19, 32, 41, 42, 43, 52, 61, 62]. Najczęściej badacze wiążą wpływ pola magnetycznego na organizmy żywe ze zmianą przenikalności błon komórkowych i szybkości procesów dyfuzyjnych.

Dubrow [19] cytując prace wielu autorów dowodzi, że istnieje zależność przebiegu procesów fizjologicznych w roślinach z niezależnymi elementami ziemskiego pola magnetycznego. Szczególnie uwidacznia się to w zgodności przebiegu wahań intensywności takich procesów fizjologicznych, jak oddychanie, fotosynteza, dzienny wzrost itp., z cyklami zmienności pola geomagnetycznego (rys. 33). Stwierdzenie tego faktu stało się podstawą do podjęcia prac badawczych mających na celu określenie metod i sposo-



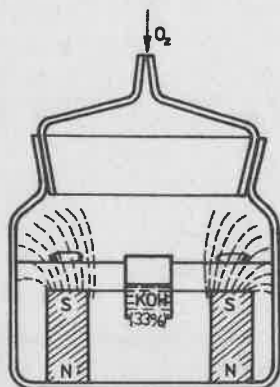
Rys. 33a. Dzienny wzrost kukurydzy (1) i zmiany poziomej składowej (2) pola geomagnetycznego



Rys. 33b. Dobowy rytm oddychania liści buraków (1) i zmiany pionowej składowej (2) pola geomagnetycznego /19/

bów oddziaływania stałego pola magnetycznego na rośliny w zakresie stymulacji ich rozwoju.

Striekowa i inni /52/ prowadzili szczegółowe badania nad określeniem wpływu niejednorodnego pola magnetycznego na wzrost i oddychanie kielków roślinnych. Jako źródła niejednorodnego pola magnetycznego używali oni pierścieniowych magnesów o średnicy 60 mm. Średnie natężenie pola magnetycznego w strefie, w której umieszczano nasiona (1 cm od poziomej powierzchni magnesów), wynosiło 58,62 i 100 Oe. Magnesy umieszczono na dnie szklanych naczyń i zalano 0,7% roztworem agar-agaru (rys. 34).



Rys. 34. Schemat stanowiska do badania wpływu pola magnetycznego na kiełkowanie nasion /52/

Na okręgu nad południowym biegunem magnesów umieszczano nasiona zorientowane zarodkiem na zewnątrz. Obiektem badanym były nasiona żyta odmiany Wiatka, łubinu Niemczewski, kukurydzy Woroneżskaja i ogórków Nierosimye. W trakcie doświadczenia określano wpływ pola magnetycznego na proces absorpcji tlenu przez kiełkujące nasiona. Badania pozwoliły na stwierdzenie, że biologiczne działanie niejednorodnego pola magnetycznego jest wyraźne, lecz w niewielkim stopniu zależne od jego natężenia. I tak pole o natężeniu 58 i 62 Oe przyspiesza wyraźnie wzrost 3-dniowych kiełków badanych roślin, lecz jednocześnie zwiększenie natężenia pola do 100 Oe nie przyspiesza widocznie tego procesu. Ponadto stwierdzono, iż działanie pola na kiełkujące nasiona jest zależne od temperatury (tab. 5). Maksymalny wpływ wywiera pole w temperaturach optymalnych dla rozwoju nasion.

Tabela 5. Zależność działania niejednorodnego pola magnetycznego o natężeniu 62 Oe na wzrost żyta Wiatka /52/

Warianty	Temperatura [°C]	Długość kiełków			
		łodygi		korzenie	
		mm	% kontroli	mm	% kontroli
magnes	18	10 ± 0,44	100	53 ± 2,80	132
nastawa kontrolna		10 ± 0,46	100	40 ± 1,99	100
magnes	20	15 ± 0,72	107	56 ± 2,86	143
nastawa kontrolna		14 ± 0,65	100	39 ± 2,40	100
magnes	26	43 ± 1,48	107	177 ± 9,97	109
nastawa kontrolna		40 ± 1,75	100	162 ± 5,73	100

Niejednorodne pole magnetyczne wywiera także wpływ na szybkość absorpcji tlenu przez kiełkujące nasiona. Najbardziej widoczne jest to w pierwszych dobach rozwoju. Badania wykazały także, że kiełkowanie pod działaniem zmiennego pola magnetycznego powoduje zmiany w wykorzystaniu suchej masy ziarna w procesie kiełkowania i zmiany biochemiczne w stosunku do nasion kiełkujących w normalnych warunkach. Przy jednakowej ilości zużytej w procesie kiełkowania suchej masy ziarna, zawartość suchej ma-

sy w jednostce długości kielków jest mniejsza u nasion kielkowanych w niejednorodnym polu magnetycznym przy jednoczesnym wzroście zawartości kwasu RNA w strefie wzrostowej kielków.

Podobne badania prowadził Lebiediew [32]. Poddając działaniu stałego pola magnetycznego nasiona pszenicy ozimej Mironowskaja 808, słonecznika Armawirskij 3497 i soi Macinowe 7 stwierdził, że kielkowały one średnio o dwie doby wcześniej niż nasiona kontrolne. Ponadto miały one w chwili wysadzania do gruntu 3÷4-krotnie dłuższy system korzeniowy oraz wyższą część nadziemną i większą powierzchnię liści (tab. 6). Badania procesów fizjologicznych wykazały, że intensywność oddychania 7-dniowych roślin próbnych kielkowanych w stałym polu magnetycznym 1,5÷2-krotnie przewyższała intensywność oddychania roślin kontrolnych przy zwiększonej fotochemicznej aktywności jednostki chlorofilu.

Tabela 6. Wpływ stałego pola magnetycznego (SPM) na rozwój pszenicy, soi i słonecznika (1,5 miesięczne rośliny) według [32/

Rośliny	Długość korzeni [cm]	Wysokość roślin [cm]	Powierzchnia liści [cm ²]	Ciężar masy nadziemnej [g]	
				mokrej	suchej
Soja:					
- kontrolne	0,6	68	632,3	13,0	1,6
- próbne	2,2	88	1115,9	20,7	2,8
Słonecznik:					
- kontrolne	0,4	44	909,0	37,9	-
- próbne	1,6	63	1736,0	68,3	-
Pszenica:					
- kontrolne	0,25	30	-	7,1	0,5
- próbne	0,5	40	-	10,8	0,9

Szyjan [61/ poddając przedświeżej obróbce w stałym polu magnetycznym nasiona pszenicy i jęczmienia uzyskał w warunkach polowych wzrost plonów o 16±20%, spowodowany lepszym rozkrzewieniem roślin i wzrostem długości kłosów (tab. 7). Stwierdził on także, że kielkowanie nasion w stałym polu magnetycznym powoduje skrócenie okresu wegetacji fasoli o 7÷9 dni. Zachodzi więc zjawisko przyspieszenia i wzmocnienia wzrostu na skutek stymulacyjnego działania stałego pola magnetycznego. Działanie to ma

związek ze zwiększoną zdolnością pochłaniania wody. Dla nasion obrabianych w stałym polu magnetycznym zdolność pochłaniania wody była w okresie kiełkowania o 40% większa, natomiast w okresie kształtowania ziaren ilość trwale związanej wody była o 19;26% większa.

Tabela 7. Wpływ przedsiewnej obróbki nasion pszenicy i jęczmienia na strukturę plonu /61/

Wariant	Liczba roślin na 1 m ² [szt]		Wy- kość roślin [cm]	Długość kłosa [cm]	Ciężar 1000 ziaren [g]	Plon [kg/ha]
	wszyst- kich	z kło- sem				
Pszenica ozima:						
- kontrolne	486	383	108	10,1	48,2	2997,8
- po obróbce w SPM	541	485	113	10,5	52,7	2875,3
Jęczmień jary:						
- kontrolny	1060	804	90	6,2	42,9	2291,1
- po obróbce w SPM	1230	1015	93	6,66	46,6	2697,5

Tałańska i Szachbazow /62/ badali wpływ oddziaływania stałego pola magnetycznego o natężeniach 2; 2,4 i 7 kOe na intensywność oddychania nasion kukurydzy w pierwszych fazach kiełkowania i wzrostu. Stwierdzili, że krótkookresowe działanie stałego pola magnetycznego o dużym natężeniu (do 7 kOe) wpływa na zwiększenie zapotrzebowania tlenu u kiełkujących nasion. Analogiczne efekty uzyskali przy dłuższym działaniu pola magnetycznego o mniejszym natężeniu. Natomiast krótkotrwale oddziaływanie pola o niewielkim natężeniu (do 2,4 kOe) nie wywiera istotnego wpływu na procesy oddychania.

Przytoczone wyniki badań wskazują, że pole magnetyczne działa stymulująco na rozwój organizmów roślinnych, szczególnie w pierwszych etapach organogenezy. Dlatego też coraz częściej podejmowane są próby wykorzystywania go jako czynnika roboczego w procesach zwiększania wartości siewnej nasion.

Obróbka nasion w polu elektrycznym

Badania podjęte w wielu krajach, głównie w ZSRR i USA, wykazały, że jednym z czynników wywołujących stymulację rozwoju organizmów roślin-

nych może być pole elektryczne /34/. Stosunkowo szeroko objęto badania-
mi ten problem w odniesieniu do nasion roślin uprawnych. Poddawano je
działaniu pola elektrycznego o różnych charakterystykach, począwszy od
elektrostatycznego poprzez zmienne częstotliwości 50 Hz aż do pól wytwa-
rzanych w układach zasilanych zmiennym napięciem wysokiej częstotliwości.
Efekty obróbki polem elektrycznym oceniano zarówno na podstawie labora-
toryjnych badań szybkości i prawidłowości organogenezy, jak i polowego
rozwaju roślin z uwzględnieniem wysokości plonów.

Azin /2/ podjął szerokie badania nad wpływem działania stałego pola
elektrycznego na nasiona i rozwój wyrastających z nich roślin. Wysunął
on hipotezę, że działanie pola elektrycznego przejawia się w przyspiesze-
niu procesów biologicznych w kiełkujących nasionach na skutek ładowania
nie związanych molekuł, zmianach wielkości i znaków ładunków komórek
i wystąpieniu prądów przewodzenia i polaryzacji. Badaniami objęto nasio-
na pszenicy odmiany Diamant ładując je w polu wyładowania ulotowego lub
obrabiając w polu elektrostatycznym. Czas przebywania nasion w polu elek-
trostatycznym określono na 1 ± 5 s przy natężeniach pola 1 ± 5 kV/cm. Przy
ładowaniu nasion w elektrycznym wyładowaniu ulotowym stosowano czas ob-
róbki $0,33\pm 3$ s. Kontrole wyników badań prowadzono określając laborato-
ryjną zdolność kiełkowania obrabianych nasion oraz analizując wschody po-
lowe i struktury plonów wyrastających z nich roślin. Na podstawie wyników
badań stwierdzono, że nasiona poddane działaniu pola elektrycznego w każ-
dym przypadku zachowują swoje biologiczne cechy organizmów żywych. W
wielu przypadkach zostało stwierdzone stymulujące działanie pola. Przeja-
wiło się ono szczególnie we wzroście zdolności kiełkowania i wschodów po-
lowych (tab. 8) i lepszym rozwoju roślin (tab. 9). Także badania struktu-
ry plonów wykazały, że obróbka nasion w polu elektrycznym spowodowała
w efekcie końcowym wzrost plonów średnio o około 10% w stosunku do na-
sion nie obrabianych (tab. 10).

Izakow i Błonskaja /23/ oraz Izakow i Nieczajew /27/ prowadząc ba-
dania nad wpływem działania pola elektrycznego z uwzględnieniem ładowa-
nia nasion zbóż w polu wyładowania ulotowego określili zależności między
parametrami pola elektrycznego i wielkością osadzonego na nasionach ła-
dunku a późniejszym rozwojem nasion (tab. 11). Stwierdzili także, że re-

Tabela 8. Energia kiełkowania i wschody nasion po elektroobróbkę w polu elektrycznym /2/

Rodzaj pola elektrycznego	Parametry pola elektrycznego			Odmiana pszenicy			
	natężenie [kV/cm]	czas [s]	znak ładunku	Lintiescen		Diamant	
				energia kiełkowania [%]	wschody [%]	energia kiełkowania [%]	wschody [%]
Pole elektrostatyczne	1,25	3	+	97,8	98,3	73,5	90,3
	2,5	3	+	94,3	96,5	78,5	90,0
	3,75	3	+	91,5	95,8	81,3	95,5
Pole wyładowania koronowego	2,0	1	-	97,0	98,3	56,8	92,0
	3,0	1	-	93,3	95,5	73,5	90,3
	3,5	1	-	95,8	98,3	74,8	93,5
Nastawa kontrolna	0	0	nie ma	85,5	94,5	57,5	91,8

zultaty obróbki w polu elektrycznym w znacznym stopniu zależą od wilgotności nasion w momencie obróbki; lepsze rezultaty osiąga się przy obróbce nasion o małej wilgotności (tab. 12).

Tabela 9. Rozwój roślin po elektroobróbkę /2/

Rodzaj pola elektrycznego	Czas ekspozycji [s]	Średnia liczebność liści na 1 roślinie
Pole wyładowania koronowego	1/3	4,9
	1,0	4,2
	3,0	6,6
Pole elektrostatyczne	1,0	4,6
	3,0	5,6
	5,0	5,7
Kontrola	0	4,5

Tabela 10. Plony pszenicy po elektroobróbce materiału nasennego w 1959 r. /2/

Nateżenie pola [kV/cm]	Czas ekspozycji [s]	Plon [kg/ha]		
		Pole wyładowania koronowego (-)	Pole elektrostatyczne	
			+	-
1	1/3	1249,7	-	-
3	1/3	1264,9	-	-
5	1/3	1473,2	-	-
1	1	1315,7	1209,4	1524,0
3	1	1315,7	1178,5	1351,3
5	1	1336,0	1295,4	1224,3
1	3	1437,6	1376,6	1209,0
3	3	1320,8	1341,1	1310,6
5	3	1463,0	1280,1	1468,1
1	5	-	1290,3	1290,3
3	5	-	1209,8	1356,4
5	5	-	1244,6	1412,2

Uwaga: Plon pszenicy kontrolnej wynosił 1198.8 kg/ha

Tabela 11. Rezultaty obróbki nasion w polu elektrycznym ze wstępnym ładowaniem i bez ładowania /23/

Rodzaje doświadczeń	Charakter działania	Wschody polowe	Wiosenno-letnia żywotność	Liczebność ziarn w kłosie	Masa 1000 ziarn [g]	Zawartość białka w ziar- nie [%]	Plon [kg/ha]
		[%]					
Kontrola	-	67,3	65,3	24	35,1	14,96	1488
Obróbka w elektrostatycznym polu (ziarno na izolacji)	pole elektryczne	66	73,9	27	36,7	15,92	1666
Obróbka w polu wyładowania koronowego (ziarno na izolacji)	pole elektryczne + obróbka strumieniem jonów	68,5	75,5	33	38,9	15,50	2042
Obróbka w polu elektrostatycznym (bez izolacji)	pole elektryczne + obróbka	67,4	76,3	29	36,9	15,21	1905

Tabela 12. Wpływ wilgotności nasion na wynik elektroobróbki /27/

Wilgotność ziarna przy elektro- obróbce [%]	Wiosenno- -letnia żywność [%]	Liczebność ziarn w kłosie	Masa 1000 ziarn [g]	Plon [kg/ha]	Zawartość białka w ziarnie plonu [%]
Kontrola (13,6)	56,2	26,6	31,1	1224,3	11,50
8,6- 8,8	57,8	28,0	32,0	1412,2	11,25
13,5-13,6	62,8	28,8	32,4	1564,6	12,25
18,5-17,2	55,1	29,1	31,6	1402,0	11,65
25 -24,4	57,6	27,8	31,3	1310,6	11,60

Na podstawie wyników badań laboratoryjnych przeprowadzili oni w latach 1964-1965 cykl badań polowych z nasionami poddawany przed wysiewem wielowarstwowej obróbce w polu elektrycznym. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że najlepsze rezultaty osiąga się przy obróbce w polu elektrycznym nasion w jednej warstwie (tab. 13). Nasiona otrzymują wtedy ładunek bezpośrednio od elektrody. Zwiększenie grubości warstwy prowadzi do zaniku bezpośredniego ładowania lub w skrajnym przypadku ładowania tylko warstwy powierzchniowej. Wykazali też, że samo osadzanie ładunku na powierzchni nasion w polu wyładowania ulotowego nie wywiera istotnego wpływu na późniejszy rozwój roślin. Ponadto analizy chemiczne ziarn wykazują, że elektroobróbka przedsięwzięcia nasion powoduje wzrost zawartości białka w ziarnie plonu.

Tabela 13. Produktywność roślin i plony pszenicy w zależności od grubości warstwy nasion przy elektroobróbce (doświadczenia lat 1964-1965) /27/

Grubość warstwy nasion przy elektroobróbce	Liczebność			Masa 1000 ziaren [g]	Zawartość białka w ziarnie [%]	Plon [kg/ha]
	kłosków w kłosie	ziarn w kłosie	roślin na 1 m ² przed zbiorem			
Kontrola	13,9	26,6	292,9	31,1	11,50	1224
1 warstwa	14,8	30,1	328,7	32,7	12,05	1513
2 warstwa	14,3	27,8	305,9	31,6	11,40	1310
4 warstwa	14,4	26,9	302,1	31,0	11,60	1275

Wieloletnie badania w zakresie elektroobróbki prowadzone przez Basowa i innych [6] wykazały, że działanie na nasiona stałym polem elektrycznym wpływa na wzrost intensywności pochłaniania wody, co sprzyja szybszemu rozpuszczaniu podstawowych substancji odżywczych i zwiększeniu intensywności pochłaniania ich przez rośliny. Oprócz tego wzrasta intensywność oddychania i fotosyntezy (uzyskano $70 \pm 200\%$ wzrost intensywności oddychania). Świadczy to, iż stałe pole elektryczne wpływa na uaktywnienie procesów biochemicznych i fizjologicznych. W wyniku tego wzrastają wartości siewne nasion i lepszy jest rozwój w późniejszych etapach organogenezy. W przypadku pszenicy jarej siła wzrostu początkowego zwiększa się o $10 \pm 18\%$, rośliny są dłuższe, następuje zwiększenie powierzchni liści (a w następstwie wzrost wydajności fotosyntezy o około 50%).

Badania składu chemicznego roślin wyrosłych z nasion obrabianych w stałym polu elektrycznym wykazały także, że wzrosła w nich zawartość podstawowych substancji odżywczych takich, jak azot, fosfor, potas, wapń i sód. Basow tłumaczy to tym, że rośliny mając bardziej rozwinięty system korzeniowy lepiej przyswajają substancje odżywcze z gleby. W efekcie końcowym uzyskano wzrost plonów pszenicy o $5 \pm 15\%$.

Stanko i Kożewnikowa [51] badali zmiany procesów fizjologiczno-biochemicznych w nasionach, kielkach i roślinach, zachodzące w wyniku poddania nasion obróbce w polu elektrycznym prądu przemiennego. Natężenie pola wynosiło 1, 2, 4 i 8 kV/cm, a czas ekspozycji 30 s. Wysiewu nasion dokonywali w 1, 6, 16 i 38 dniu po obróbce. Stwierdzili, że w wyniku wzrostu intensywności procesów biochemicznych w rozwijających się roślinach wzrasta znacznie zawartość poszczególnych składników odżywczych. Zachodzi przy tym wyraźna zależność między wielkością zasztych zmian biochemicznych (w porównaniu z roślinami kontrolnymi) a parametrami obróbki i czasem, jaki upłynął między obróbką a wysiewem.

Dalsze badania w tym zakresie prowadzone przez Kożewnikową [30] potwierdziły uzyskane wcześniej rezultaty i rozszerzyły je o wieloletnie badania polowe. W ich wyniku stwierdzono, że obróbka w polu elektrycznym może przynieść znaczne korzyści ekonomiczne związane ze wzrostem plonów uzyskiwanym po wysiewie nasion poddanych elektroobróbce (tab. 14). Ustalono także zależności niektórych elementów plonu od parametrów

obróbki i czasu upływającego od obróbki do wysiewu (tab. 15).

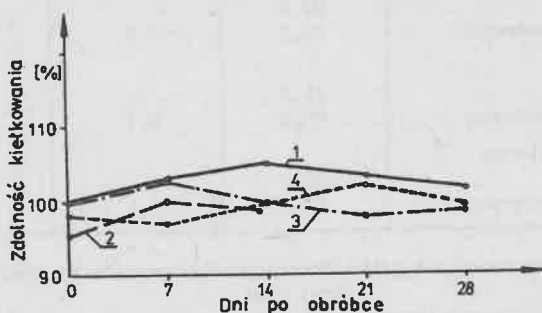
Tabela 14. Wpływ pola elektrycznego prądu przemiennego na wzrost plonów roślin uprawnych /30/

Rośliny	Plon [q . ha ⁻¹]	Przyrost plonu w porównaniu z roślinami kontrolnymi	
		[q . ha ⁻¹]	[%]
Pszonica ozima			
- próba	29,5		
- partia kontrolna	27,9	1,6	5,8
Jęczmień ozimy			
- próba	24,2		
- partia kontrolna	23,7	0,5	2,1
Owies			
- próba	21,9		
- partia kontrolna	21,2	0,7	3,2
Kukurydza na ziarno			
- próba	39,9		
- partia kontrolna	37,8	2,1	5,4

Tabela 15. Wpływ natężenia pola i okresu obróbka-wysiew na plon pszenicy jarej /30/

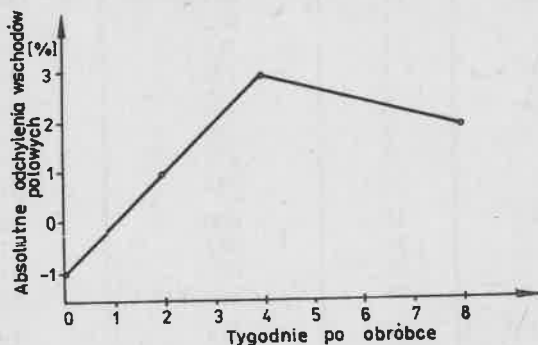
Natężenie pola E [kV . cm ⁻¹]	Okres obróbka- wysiew [dni]	Ciężar ziarna przy wilgotności 14% [g]	Ciężar w porówna- niu z roślinami kontrolnymi [%]
Partia kontrolna	1	687	100
1	1	672	98
2	1	715	104
4	1	730	106
Partia kontrolna	5	736	100
1	5	736	100
2	5	772	105
4	5	792	108
Partia kontrolna	11	600	100
1	11	667	111
2	11	667	111
4	11	694	116
Partia kontrolna	17	619	100
1	17	688	111
2	17	788	127
4	17	805	130

Smirnowa /50/ oraz Szmigiel i Rachmanin /59/ ustalili optymalne parametry obróbki i przedział czasowy obróbka-wysiew dla wielowarstwowej obróbki nasion. I tak przy stosowaniu pola elektrostatycznego najlepsze rezultaty są osiągnięte przy zasilaniu elektrod napięciem 20 lub 28 kV przy grubości warstwy obrabianej 2÷3 cm i szczelinie powietrznej między elektrodą a powierzchnią nasion wynoszącej 1 cm. Optymalnym czasem wysiewu jest w tym przypadku 21÷28 dzień po obróbce (rys. 35). Przy stosowaniu pola elektrycznego prądu przemiennego optymalne było natężenie 1 kV/cm przy czasie ekspozycji 10 s.



Rys. 35a. Zmiany zdolności kiełkowania nasion kukurydzy odniesione do nasion kontrolnych w zależności od parametrów obróbki i przedziału czasowego obróbka-wysiew /50/

$E = 1 \text{ kV/cm}$; czas ekspozycji: 1 - 10s; 2 - 20s; 3 - 30s; 4 - 120s



Rys. 35b. Zależność absolutnego odchylenia wschodów połowych pszenicy od wschodów nasion kontrolnych w zależności od przedziału czasowego obróbka w polu elektrycznym-wysiew /59/

$E = 7 \text{ kV/cm}$; grubość warstwy $d = 3 \text{ cm}$

Dzięki pozytywnym wynikom badań laboratoryjno-pólowych technologie obróbki przedsiewnej nasion wprowadza się coraz szerzej do praktyki. Jak podają Raputow i inni /48/, zastosowanie tej technologii w jednym z kołchozów przyniosło roczne zyski w wysokości 43,5 tys. rubli. Świadczy to o bezspornych korzyściach, jakie może przynieść praktyczne zastosowanie elektroobróbki przedsiewnej.

Zastosowanie prądu elektrycznego do stymulacji biologicznej nasion

Przedmiotem wielu badań jest problem zastosowania prądu elektrycznego jako czynnika stymulującego rozwój roślin. Najczęściej badacze wiążą jego działanie na materiał biologiczny ze zmianą fizykochemicznej struktury protoplazmy.

Szatiłow i Trifonowa /56/ przeprowadzili tego rodzaju badania na nasionach zbóż. Zasada ich opierała się na przepływie prądu przez warstwę nasion zwilżonych wodą destylowaną i obserwacji przebiegu organogenezy od okresu kiełkowania przez wszystkie następne stadia rozwojowe. Stwierdzili oni stymulacyjne działanie przepływającego prądu przejawiające się zmianami składu chemicznego i niektórych fizycznych cech protoplazmy zarodka. Zmiany te aktywizują przechodzenie substancji odżywczych do komórek. Obrabiane prądem nasiona szybciej pęcznieją, wykazując jednocześnie zwiększone zapotrzebowanie wody. Wyraźnie widoczna jest aktywizacja procesów oddychania i przemiany substancji zapasowych. Sprzyja to szybszym wschodom, a w dalszym okresie lepszemu rozwojowi roślin i wyższym plonom. W początkowym okresie wzrost kielków w porównaniu z roślinami kontrolnymi jest szybszy, a po wykształceniu listków występuje w nich zwiększona ilość chlorofilu (tab. 16).

Dalsze szczegółowe badania Trifonowej /67/ doprowadziły do określenia jakościowych i ilościowych zmian chemicznych zachodzących w roślinach, których nasiona poddawano obróbce stałym prądem elektrycznym. Stosowano prąd o gęstości $8 \cdot 10^{-8}$ do $15 \cdot 10^{-7}$ A/cm² i czasy ekspozycji 5 i 15 min. W trakcie badań oznaczano zawartość mikroelementów w tkankach roślinnych i porównywano z roślinami kontrolnymi. Obróbka nasion stałym prądem elektrycznym wywierała znaczny wpływ na przyswajanie przez rośliny niektórych mikroelementów. Największe różnice w porównaniu z roś-

Tabela 16. Wpływ przedsiewnej obróbki stałym prądem elektrycznym na zawartość chlorofilu w kielkach jęczmienia po wyjściu z gleby /56/

Warianty		Ilość chlorofilu	
gęstość prądu [A/cm ²]	czas ekspozycji [min]	mg/g masy świeżej	% kontroli
$8 \cdot 10^{-8}$	5	0,128	110,3
$15 \cdot 10^{-7}$	15	0,130	112,0
$8 \cdot 10^{-8}$	5	0,134	115,5
$8 \cdot 10^{-8}$	15	0,140	120,7
$15 \cdot 10^{-7}$	5	0,180	155,0
Kontrola	-	0,116	100,0

liniami kontrolnymi stwierdzono w przypadku magnezu, żelaza, miedzi i cynku (tab. 17). Zmiany gęstości prądu i czasu ekspozycji w badanym zakresie nie powodowały istotnych różnic.

Tabela 17. Rozkład mikroelementów w roślinach jęczmienia obrabianego przedsiewnie prądem stałym [mg/kg s.m.] /67/

Etapy organogenezy	Magnez		Żelazo		Miedź		Cynk	
	doświadczenie	kontrola	doświadczenie	kontrola	doświadczenie	kontrola	doświadczenie	kontrola
II	0,86	0,30	9,3	6,5	0,079	0,03	0,028	0,001
III	0,79	0,30	9,7	6,5	0,022	0,01	0,065	0,03
V	0,83	0,30	3,7	2,0	0,720	0,30	0,112	0,03
VI	1,00	1,00	2,2	1,0	0,180	0,10	0,120	0,06
VII	1,33	1,00	4,4	3,0	1,800	1,00	0,180	0,10
VIII-IX	0,44	0,20	1,0	1,0	0,590	0,10	0,470	0,30
XI	0,79	0,65	1,6	1,0	0,166	0,065	0,092	0,10

Krawcow i inni /31/ wykonali badania wpływu prądu elektrycznego o niewielkiej gęstości (10^{-5} do 10^{-1} A/m²) na rozwój i aktywność mikroorganizmów glebowych, głównie bakterii nitryfikacyjnych. W badaniach przejawiała się stymulująca rola działania prądu. Powodował on uaktywnienie procesów rozmnażania bakterii, co w efekcie końcowym wpływało na zwiększenie stopnia przyswajalności azotu przez rośliny.

Wpływ magnetycznej obróbki wody na rośliny

Woda poddana działaniu pola magnetycznego i używana do podlewania roślin wpływa dodatnio na ich rozwój. Zwiększa zdolność kiełkowania i zmniejsza zasolenie gleb [20]. Obróbka magnetyczna wody polega na przepływie jej strumienia przez szczelinę magnesu stałego lub elektromagnesu. Parametry obróbki magnetycznej wody są więc określone przez natężenie pola magnetycznego i czas obróbki. W wyniku obróbki magnetycznej zmieniają się fizyczne i chemiczne właściwości wody.

Lebiedik [33] badał wpływ magnetyzowanej wody na nasiona buraków cukrowych. W wyniku moczenia w niej nasion przez 1 godzinę uzyskano 4-krotnie większą zdolność kiełkowania w stosunku do nasion kontrolnych, a w efekcie końcowym wzrost plonów o 7÷9%.

Podobne wyniki uzyskał Wołkonski [69]. Podleając rośliny ryżu magnetyzowaną wodą uzyskał znaczny wzrost plonów (tab. 18).

Tabela 18. Wpływ namagnetyzowanej wody na plon ryżu [69/]

Wariant	Plon		Zużycie wody na 1 q plonu	
	$q \cdot ha^{-1}$	%	$m^3 \cdot q^{-1}$	%
Namoczenie nasion	48,2	114	490	88
Zraszanie nasion	30,0	118	475	85
Rośliny kontrolne	42,2	100	560	100

Jakowlew [29] używał magnetyzowanej wody do podlewania kukurydzy, pomidorów, ogórków i grochu w warunkach polowych. W każdym z tych przypadków uzyskano wyraźny wzrost plonów o 17÷37%.

Stwierdzony został także pozytywny wpływ podlewania magnetyzowaną wodą drzew i krzewów jagodowych [47/]. Przyczynia się to do zwiększenia szybkości wzrostu poprzez wpływ na rozwój systemu korzeniowego.

Jakowlew [28/] obserwując rozwój pszenicy jarej z nasion moczonych w wodzie poddanej wstępnie działaniu prądu elektrycznego o natężeniu 0,1÷÷8 A wykazał, że miały one większą zdolność kiełkowania (tab. 19). Uzyskany efekt był przy tym zależny od wielkości ładunku elektrycznego, jaki otrzymała woda.

Tabela 19. Wpływ wody poddanej obróbce elektrycznej na zdolność kiełkowania nasion pszenicy jarej /28/

Wielkość ładunku [C · 1 ⁻¹]	Zdolność kiełkowania w %	
	próba I	próba II
50	85,4	81,9
400	75,0	88,1
pomiar kontrolny	66,7	77,5

WYKORZYSTANIE PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH WYSOKICH CZĘSTOTLIWOŚCI DO SUSZENIA I DEZYNSEKCJI ZIARNA

Nagrzewanie dielektryczne (energiją pól elektromagnetycznych o wysokiej częstotliwości) stosuje się przy suszeniu, kondycjonowaniu i dezynsekcji (odkażaniu) ziarna. Osobliwością tej metody nagrzewania jest wydzielanie energii w całej masie ziarna, co przyczynia się do bardzo równomiernego rozkładu temperatury w całym przekroju każdego ziarna. Przy dielektrycznym nagrzewaniu przewodność cieplna materiału nie wpływa na szybkość procesu, dlatego grzanie można prowadzić dość szybko bez ryzyka przegrzania powierzchni zewnętrznej.

W celu nagrzania nie przewodzącego materiału (ziarna), umieszcza się go w polu elektrycznym kondensatora (rys. 36). Pod wpływem pola elektromagnetycznego płyną w nim prądy przesunięcia przewodzenia.



Rys. 36. Schemat nagrzewania materiału w polu elektrycznym

Moc p , wydzielana w jednostce objętości ziarna, wynosi /60/:

$$p = \omega \epsilon_0 \epsilon \operatorname{tg} \delta E^2, \quad (25)$$

gdzie: ω - częstota kątowa źródła zasilania [s^{-1}];

$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$ - przenikalność elektryczna próżni;

δ - kąt strat ziarna;

E - natężenie pola elektrycznego $\left[\frac{V}{m} \right]$;

ϵ - przenikalność elektryczna ziarna.

Iloczyn $\epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$ charakteryzuje właściwości ziarna i bywa często nazywany współczynnikiem strat.

Prędkość nagrzewania możemy regulować poprzez zmianę natężenia pola elektrycznego lub zmianę częstotliwości. Natężenie można zwiększać tylko do określonej granicy nie przekraczającej granicznego natężenia przebiccia. Większe możliwości regulacji daje zmiana częstotliwości ω .

Głębokość wnikania energii pola elektromagnetycznego (fali elektromagnetycznej) w dielektryk określa wyrażenie /60/:

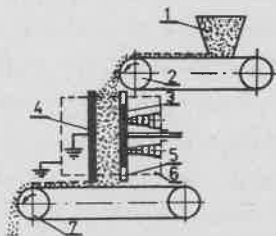
$$\Delta = \frac{10^8}{f \operatorname{tg} \delta \sqrt{\epsilon}} \quad (26)$$

W celu otrzymania równomiernego nagrzewania materiału odległość między okładkami kondensatora powinna być mniejsza od Δ . Długość fali powinna być porównywalna z wymiarami geometrycznymi ziarna i szkodników (owadów). Częstość źródła zasilającego winna więc mieścić się w granicach 300;30 000 MHz.

Podczas dielektrycznego suszenia ziarno przesypuje się między okładkami kondensatora roboczego (elektrodami) (rys. 37, 3, 4), na które jest podawane napięcie z generatora zasilającego. Proces suszenia dielektrycznego jest kilkakrotnie tańszy od metod tradycyjnych i pozwala na zachowanie witamin w suszonym ziarnie.

Rys. 37. Schemat dielektrycznego nagrzewania ziarna

1 - kosz zasypowy; 2,7 - taśmociągi;
3,4 - elektrody; 5 - izolacja;
6 - ekran elektryczny



Przy dezynsekcji wykorzystuje się fakt większej wilgotności ciała szkodnika od materii ziarna. Znajdując się w polu elektrycznym o częstości

1,2 MHz i natężeniu $1,5 \cdot 10^2$ kV/m ziarno nagrzewa się jedynie do 328 K, zachowując zdolność kiełkowania. Tymczasem szkodnik o większym współczynniku strat niż ziarno nagrzewa się do wysokiej temperatury i ginie w czasie 10÷120 s. Przy tym wielkość strat energii na nagrzewanie ziarna o wilgotności 13÷19% nie przekracza $0,25 \text{ W/cm}^3$.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyżej rozważania teoretyczne oraz przykłady rozwiązań praktycznego wykorzystania energii elektrycznej mogą prowadzić do następujących stwierdzeń ogólnych.

Elektroseparatorcja nasion jest procesem mogącym stanowić z powodzeniem uzupełnienie znanych i powszechnie stosowanych metod czyszczenia i sortowania. Zespołowe wykorzystywanie cech fizycznych w tym procesie stwarza możliwość różnicowania zachowania się nasion nawet podobnych pod względem cech geometrycznych i aerodynamicznych, nieosiągalnego w innych maszynach do czyszczenia i sortowania.

Za szczególną zaletę separatorów elektrycznych należy uznać małą energochłonność oraz niezwykle łatwość regulacji parametrów procesu rozdzielczego. Wadą ich jest wrażliwość na wilgotność powietrza w pomieszczeniu, gdzie pracują, oraz względnie duży koszt produkcji i szczególne warunki eksploatacji wymagające dużej ostrożności.

Duże nadzieje można wiązać ze stwierdzoną praktycznie możliwością prowadzenia operacji sortowania w celu oddzielania nasion żywych od martwych, co nie jest dotąd osiągalne w skali technicznej^x żadną z dotychczasowych metod. Może to mieć duże znaczenie praktyczne w odniesieniu do partii nasion o obniżonej sile kiełkowania, zwłaszcza u tych gatunków, których cena jednostkowa jest wysoka. Dodatkowo stwierdzony efekt przyrostu zdolności kiełkowania w rezultacie elektroobróbki (w stosunku do materiału wyjściowego) podnosi jeszcze skuteczność takiego procesu.

Przedstawione wyniki badań w zakresie dodatniego wpływu elektroobróbki na zdolność kiełkowania, skłaniają do podjęcia działań na rzecz sze-

^x W skali półtechnicznej separację taką przeprowadzono wykorzystując sprężystość nasion jako cechą rozdzielczą. Wyniki podano w pracy: Grochowicz J.: Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion, PWRiL, Warszawa 1971, s. 299-302,

rokiego wprowadzenia techniki elektroobróbki materiału siewnego do praktyki rolniczej.

Należy w zakończeniu stwierdzić, iż istnieje pilna potrzeba przeprowadzenia gruntownych badań nad elektrycznymi właściwościami różnych gatunków nasion, roślin oraz surowców i półproduktów spożywczych pochodzenia zwierzęcego, tutaj bowiem tkwią duże możliwości zwiększenia plonów i usprawnienia procesów technologicznych w przetwórstwie surowców rolniczych.

LITERATURA

1. Atabiekow G.I. i inni: Teoreticzeskije osnovy elektrotiechniki, cz. II i III, Energijskaja, Moskwa 1966.
2. Azin Ł.A. i inni: Priedposiewnaja obrabotka siemjan w elektriczeskom pole, Wiestnik Sielskochoz. Nauki, 1961, nr 4.
3. Basow A.M. i inni: Elektroziernooczistitielnyje masziny, Maszynostrojenije, Moskwa 1968.
4. Basow A.M., Arnold A.E.: Wlijanije pierieraspriedielenija zarjada na parametry orientacji czastic, Tr. Czelabińsk. Inst. Miech. i Elektr. Sielsk. Choz., 1974, wyp. 75, s. 6+11.
5. Basow A.M., Jasnow G.A.: Issledowanije elektroprowodnosti zierna dla processa elektrosieparacii, [w:] Nowyje problemy w elektrifikacji sielskiego chozjajstwa, Tr. CzIMESCh, wyp. 12, Czelabińsk 1961.
6. Basow A.M. i inni: Wlijanije elektriczeskiego pola na niekotoryje fizjologo-biochimizieskije processy, urożaj i jego kaczestwo, Elektronnaja Obrabotka Matieriałow, 1977, nr 1.
7. Biednow N.I.: Wlijanije czastoty elektriczeskiego pola na dielektriczieskuju pronicajemost' zierna, Sb. Naucz. Rabot Saratow. Sielskochoz. Inst., 1974, wyp. 40, s. 16+20.
8. Biednow N.I.: Opriedielenije dielektriczieskoj pronicajemosti ziernowoj massy powyszennoj wlaźnosti, Sb. Naucz. Rabot Saratow. Sielskochoz. Inst., 1974, wyp. 40, s. 13-16.
9. Borodin I.F.: Wybor elektriczeskoj schiemy modielirowanija ziernowoj massy, Miech. i Elektr. Socj. Choz., 1971, nr 1, s. 42-44.

10. Borodin I.F.: Wlijanije tiempieratury na udielnoje soprotiwlenije i dielektriceskuju pronicajemost' zernowoj massy, *Miech. i Elektr. Socj. Choz.*, 1971, nr 1.
11. Borodin I.F.: Zawisimost' udielnogo soprotiwlenija i dielektriceskoj pronicajemosti zernowoj massy pszenicy ot wlažnosti, *MIISPa*, 1969, t. V, wyp. 3.
12. Budienszczikow M.G., Kim W.M., Filatow W.I., Prawilenko N.I.: Awt. sw. SSSR, kl. WO3 s 7/04, Nr 401410, *zajawl. 17.12.71, opubl. 1.03.74.*
13. Budzko I.A.: Issledowanie wriemiennych charakteristik orientacii siemjan w elektrostaticzeskom pole, *Wiestnik Sielskochoz. Nauki*, 1974, nr 1.
14. Budzko W.I.A., Borodin I.F.: Nowyj mietod razdielenija siemjan ziernowych kultur w elektrostaticzeskom pole, *Wiestnik Sielskochoz. Nauki*, 1972, nr 10.
15. Budzko I.A., Borodin I.F., Taruszkina W.I.: Mietody razdielenija siemjan w elektrostaticzeskom pole, *Miech. i Elektr. Socj. Sielsk. Choz.*, 1972, nr 3.
16. Chełkowski A.: *Fizyka dielektryków*, PWN, Warszawa 1979.
17. Chwielindze i inni: Issledowanija orientacii siemjan rastienij w postojannom magnitnom pole do naczała ich prorastanija, *Elektronnaja Obrabotka Matieriałow*, 1968, nr 1.
18. Dąbrowski S.: Zastosowanie pola elektrycznego w procesach obróbki niektórych surowców rolniczych, *praca doktorska*, Akademia Rolnicza w Lublinie, 1980.
19. Dubrow A.P.: Wlijanije geomagnitnogo pola na fizjologiczeskije processy u rastienij, *Fizjologija Rastienij*, 1970, t. 17, wyp. 4.
20. Filiugina W.W.: Magnitnaja obrabotka wody i jejo ispolzowanie, *Mech. i Elektr. Socj. Sielsk. Choz.*, 1979, nr 1.
21. Ingarden R.S., Jemiołkowski A.: *Elektrodynamika klasyczna*, PWN, Warszawa 1980.
22. Izakow F.Ja., Aszmarin M.Ja.: *Tr. Czelabińsk., Inst. Miech. i Elektr. Sielsk. Choz.*, 1972, wyp. 67, s. 90-92.

23. Izakow F.J., Błonskaja A.P.: Wlijanije paramietrow priedposiewnoj obrabotki siemjan na razvitje rastienij i urożajnost', Miech. i Elektr. Socj. Sielsk. Choz., 1965, nr 2.
24. Izakow F. Ja., Dmitrijew W.N.: Rasczot zarjada czastic w elektro-sieparatorie, Miech. i Elektr. Socj. Sielsk. Choz., 1976, nr 6.
25. Izakow F.J., Jaonow G.A., Łaptiew A.W.: Elektroziernooczistitielnaja maszina, Awtorskoje swidietielstwo SSSR, kl. W07w 13/00, nr 368890, zajawl. 10.06.70, opubl. 4.04.73.
26. Izakow F.J., Kozłow N.S., Piszczalnikow P.J.: Awt. sw. SSSR, kl. w03 s 7/06, nr 358013, zajawl. 13.02.71, opubl. 21.12.72.
27. Izakow F.J., Nieczajew W.I.: Wlijanije miechanizma elektrieskiego pola na siemiena, Mech. i Elektr. Socj. Sielsk. Choz., 1968, nr 4.
28. Jakowlew N.P.: Elektroobrabotka wody dla uluczszienija jejo orostitielnych swojstw, Elektronnaja Obrabotka Matieriałow, 1977, nr 6.
29. Jakowlew N.P.: Opyt primienienija omagniczennoj wody na polach, Stiepnije Prostory, 1977, nr 10.
30. Kożewnikowa I.F.: Priedposiewnaja obrabotka siemjan w elektrieskom pole pieriemienno go toka, Mech. i Elektr. Socj. Sielsk. Choz., 1971, nr 3.
31. Krawcow P.W. i inni: Diejstwije słabogo elektrieskiego toka na biologiczeskiju aktiwnost' poczwy, Elektronnaja Obrabotka Matieriałow, 1968, nr 2.
32. Lebiediew S.J.: Fizjologo-biochimiczeskije osobiennosti rastienij posle priedposiewnogo wozdiejstwa postojannym magnitnym polem, Fizjologia Rastienij, 1975, t. 22, wyp. 1.
33. Lebiedik A.I.: Priedposiewnaja obrabotka siemjan (swiekły) omagniczennoj wodoj, Sacharnaja Swiekła, 1968, nr 5.
34. Majka K. i inni: Badania nad możliwością niekonwencjonalnego wykorzystania energii elektrycznej i słonecznej w rolnictwie, SGGW, Warszawa 1979 (maszynopis).
35. Matthes R.K., Boyd A.H.: Electrical Properties of Seed Associated with Viability and Vigor, ASAE 1969, vol. 12, nr 6, s. 778+781.
36. Murmancew F.M.: Niekotoryje riezultaty issledowanija tribozarjadki siemian owoszcznych kultur (na primierie semjan łuka - batuna i je go

- zasorittielej), Tr. Czelabińsk. Inst. Miech. i Elektr. Sielsk. Choz. 1974, wyp. 75, s. 41-45.
37. Nazarow G.I. i inni: Elektropriwod i primienienije elektriceskoj energii w sielskom chozajstwie, Kołos, Moskwa 1972.
 38. Nelson S.O.: Electrical Properties of Agricultural Products - a Critical Review, Trans. ASAE, 1973, 16, nr 2, s. 384-400.
 39. Nelson S.O., Stetson L.E.: Frequency and Moisture Dependence of the Dielectric Properties of Hard Red Winter Wheat, J. Agr. Eng. Res., 1976, nr 2, s. 181-192.
 40. Niestierienko A.D.: Wwiedienije w tieorieticeskiju elektrotechniku, Naukowa Dumka, Kijew 1969.
 41. Nikulin A.W.: Wlijanije orientacii lewych i prawych plodow sacharnoj swiekły w magnitnom pole ziemli na niekotoryje fizjologiczeskije processy rastienij razwiwszyszja iz nich, Izwiestija Akademii Nauk SSSR, Ser. Biologiczeskaja, 1969, nr 1.
 42. Nowicki J.I.: Diejstwije postojannogo magnitnogo pola na rost i razwitiye Pravidopsis Thaliana, Elektronnaja Obrabotka Materialow, 1978, nr 5.
 43. Nowicki J.J.: Rostowaja reakcija koleoptilnych tiestow rzy na postojannoje magnitnoje pole, Fizjologija Rastienij, 1977, nr 3.
 44. Ołofinski N.F.: Elektriceskije metody obogaszczeniya, Gosgortiechizdat, Moskwa 1962.
 45. Pech I.: Saturacni naboje dielektricke kulicky, Elektrotech. Čas., 1962, 13, nr 4, s. 217-233.
 46. Piekara A.H.: Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1972.
 47. Polikarpowa F.J.: Ispolzowanije omagniczennoj wody pri ukorienienii zielonych czerienkow, Sadowodstwo, 1978, nr 8.
 48. Raputow B.M. i inni: Priedposiewnaja obrabotka siemjan w elektriceskom pole koronnogo razrjada, Tiechnika w Sielsk. Choz., 1979, nr 3.
 49. Rohman: Methode zu Messung der Grosse von Schweleteilchen, Z.f. Phys., 1927, nr 17.
 50. Smirnowa I.S. i inni: Stimulacija rosta i razwitija rastienij priedposiewnoj obrabotkoj siemjan w elektriceskom pole pieriemienno go toka

- (50 gs), Naucznyje Trudy po Elektr. Sielsk. Choz., Moskwa 1968.
51. Stanko S.A., Kożownikowa I.F.: Fizjologo-biochimizjeskije izmienie-
nija w rastienijach pszenicy ot priedposiewnoj obrabotki siemjan elek-
triczieskim tokom, Sielskochozjajstwiennaja Biologija, 1972, t. 7, nr 4.
 52. Striekowa W.J. i inni: Niekotoryje fizjologiczieskije i cytoliczieskije
izmienienija u prorastajuszczich siemjan w postojannom magnitnom pole,
Fizjologija Rastienij, 1965, t. 12, wyp. 5.
 53. Suffczyński M.: Elektrodynamika, PWN, Warszawa 1965.
 54. Suworow S.S.: O vysokoj elektroprowodnosti suchogo ziarna, Tr.
WNIIZa, 1960, wyp. 37.
 55. Szapowałow L.W.: Razdielenije siemjan w elektriczieskom pole, Tiech-
nika w Sielskom Chozjajstwie, 1979, nr 12, s. 10-13.
 56. Szatilow F.W., Trifonowa M.F.: Wlijanije postojannogo elektricziesko-
go toka na mietabolizm prorastajuszczich siemjan jaczmienija, Elektron-
naja Obrabotka Matieriałow, 1968, nr 1.
 57. Szmigiel W.N.: Sposob opriedielenija dielektriczieskoj pronicajemosti
ellipsoidalnych czastic, prieimuszczestwiennno ziarna, Awtorskoje swi-
dietielstwo nr 137582, Biulletien izobrietienij, 1961, nr 8.
 58. Szmigiel W.W.: Oczistka siemjan owsa ot owsiuga w elektrostaticzes-
kom pole, Elektromnaja Obrabotka Matieriałow, 1977, nr 2.
 59. Szmigiel W.N., Rachmanin W.T.: Monogosłojnaja priedposiewnaja ob-
rabotka siemjan w elektriczieskom pole, Mech. i Elektr. Socj. Sielsk.
Choz., 1968, nr 8.
 60. Szulkin P., Pogorzelski S.: Podstawy teorii pola elektromagnetyczne-
go, WNT, Warszawa 1964.
 61. Szyjan A.T.: Wlijanije postojannogo magnitnogo pola na rost, razwi-
tije i produktiwnost' sielskochozjajstwiennych rastienij, Elektronnaja
Obrabotka Matieriałow, 1978, nr 5.
 62. Tałanowa I.M., Szachbazow W.G.: O wlijanii postojannyh magnitnych
polej na intensiwnost' dychanija czistoliniejnych i gieterozisnych siem-
jan kukuruzy, Fizjologija Rastienij, 1973, t. 20, wyp. 1.
 63. Taruszkin W.J.: Otdielenije siemjan redisa ot ambrozii i drugich w
elektriczieskom pole, Doklady WShAN, 1975, nr 11, s. 43.
 64. Taruszkin W.I., Bażenowa J.O.: Naprazżennost' orientacii siemjan

- kak priznak dielimosti smiesiej, Mech. i Elektr. Socj. Sielsk. Choz., 1974, nr 9.
65. Taruszkina W.I. i inni: Razdielenije siemjan lna w elektriczeskom pole, Len i Konopla, 1974, nr 9, s. 27-38.
 66. Torosjan R.N., Konochowa O.I.: Issledowanije elektrofiziczeskich paramietrow siemjan, Miech. i Elektr. Socj. Sielsk. Choz., 1972, nr 1, s. 39-40.
 67. Trifonowa M.F.: Wlijanije priedposiewnoj obrabotki siemjan postojannym tokom na razwitiye rastenij jaczmenija, Fizjologija Rastenij, 1970, t. 17, wyp. 1.
 68. Utieszew U.U.: Soprotiwlenije siemjan soi postojannomu toku i metodika jego izmierienija, Naucz. Tr. Kazachsk. S.-Ch. Inst., 1973, nr 5, s. 193-197.
 69. Wołkonski A.A.: Ob oroszenii risa "magnitnoj" wodoj, Gidrotechnika i Mielioracija, 1973, nr 9.
 70. Zajcew B.W.: Dwiženije ziernowych czastic w barabanno-kamiernom sieparatorie w pole koronnogo razrjada, Miech. i Elektr. Socj. Sielsk. Choz., 1968, nr 8.
 71. Zawiaszka W.K.: Orientirowanije siemjan w elektrostaczeskom pole, Miech. i Elektr. Socj. Sielsk. Choz., 1973, nr 2.
 72. Żebrowski S.P.: Elektrofiltry, Gosenergoizdat, 1950.

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie	3
Możliwości zastosowań elektroobróbkii materiałów pochodzenia biologicznego	3
Zakres omawianych zagadnień	4
Czynniki odgrywające rolę w procesach elektroobróbkii nasion	5
Właściwości elektryczne nasion	6
Rezystancja nasion	7
Przenikalność elektryczna nasion	9
Tangens kąta stratności nasion	15
Pomiar właściwości elektrycznych ziarna	17
Mostek Scheringa	18
Metoda rezonansowa	20
Elektryczny model ziarna	21
Zachowanie się nasion w polu elektrycznym	23
Elektryzowanie nasion	24
Elektryzowanie tarciove	24
Elektryzowanie dotykowe	24
Elektryzowanie nasion w zjonizowanym polu elektrycznym	24
Polaryzacja dielektryczna nasion	25
Wykorzystanie zjawisk elektryzowania i polaryzacji w procesach czyszczenia i sortowania nasion	26
Zachowanie się nasion spolaryzowanych w polu elektrostatycznym	26
Zachowanie się w polu elektrycznym nasion naelektryzowanych	27

Wyniki niektórych badań nad procesami rozdzielczymi w polu elektrycznym	29
Wpływ pola elektrycznego na właściwości biologiczne nasion ..	35
Obróbka nasion w polu magnetycznym	37
Obróbka nasion w polu elektrycznym	41
Zastosowanie prądu elektrycznego do stymulacji biologicz- nej nasion	49
Wpływ magnetycznej obróbki wody na rośliny	51
Wykorzystanie pól elektromagnetycznych wysokich częstotliwoś- ci do suszenia i dezynsekcji ziarna	52
Podsumowanie	54
Literatura	55