

ZASTOSOWANIE MODELU ANALITYCZNEGO I SYMULACYJNEGO DO OPISU PROCESU KIEŁKOWANIA NASION GRYKI PODDANYCH PRZEDSIĘWNEJ BIOSTYMULACJI POLEM ELEKTRYCZNYM I MAGNETYCZNYM

Stanisław Pietruszewski, Krzysztof Kornarzyński,
Bożena Gładyszewska

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań oddziaływania przedsięwnej biostymulacji zmiennym polem magnetycznym i elektrycznym o częstotliwości $f = 50$ Hz oraz stałym polem magnetycznym i elektrycznym na kiełkowanie nasion gryki. Nasiona podzielono na pięć próbek po 100 sztuk, poddano biostymulacji zmiennym i stałym polem magnetycznym, stałym i zmiennym polem elektrycznym, a następnie umieszczono na płytkach Petriego. Ocena wpływu biostymulacji została dokonana na podstawie regularnych zliczeń wykiełkowanych nasion oraz zastosowania dwóch modeli matematycznych. Zastosowanie krzywej logistycznej do modelowania procesu kiełkowania nasion gryki biostymulowanych polami magnetycznymi i elektrycznymi dało gorsze wyniki niż model symulacyjny wykorzystujący metodę Monte Carlo.

Słowa kluczowe: magnetyczna biostymulacja nasion, elektryczna biostymulacja nasion, zdolność kiełkowania, model analityczny i symulacyjny

WSTĘP

Działanie sztucznie wytworzonych przez człowieka pól magnetycznych, elektromagnetycznych i elektrycznych na biomolekuły, organizmy oraz próby fizycznej interpretacji zachodzących zjawisk, są przedstawione w licznych opracowaniach monograficznych [Barnothy 1969, Presman 1971, Wadas 1991]. Ale pomimo licznych, prowadzonych od lat badań, wpływ pól elektromagnetycznych na organizmy żywe nie jest do końca poznany. Istnieją hipotezy, które sprawdzają się dla odizolowanych przypadków, ale zastosowane w odniesieniu do całych organizmów nie wyjaśniają zaistniałych zjawisk. Poza tym, jak zauważa Wadas [1991], działanie pól nie jest selektywne. Zewnętrzne pola oddziałują na cały organizm, a więc i na te jego części, które w danym przypadku tego oddziaływania nie potrzebują.

W celu otrzymania lepszego materiału siewnego, nasiona przed wysiewem poddaje się oddziaływaniu pól magnetycznych, elektromagnetycznych, elektrycznych lub też naświetla się światłem laserowym. Przewidywana biostymulacja nasion czynnikami fizycznymi powoduje, że kiełkują one lepiej, szybciej dojrzewają i dają lepsze plony.

Prowadzone od szeregu lat w Katedrze Fizyki AR w Lublinie badania dotyczące przedśiewnej magnetycznej i elektrycznej biostymulacji nasion pozwoliły opracować metodykę badań [Pietruszewski 1998, 1999]. Oddziaływanie pól magnetycznych i elektrycznych na nasiona i rośliny zależy od energii tych pól. Na podstawie równań pola elektromagnetycznego została określona gęstość energii zarówno stałego, jak i zmiennego pola magnetycznego i elektrycznego. W związku z tym można dokładnie wyznaczyć dawkę ekspozycyjną pól oddziałujących na nasiona i rośliny.

Zostały zbudowane specjalne elektromagnesy, w których można uzyskać płynną zmianę przemiennej indukcji magnetycznej w zakresie od 30 do 100 mT oraz stałej indukcji magnetycznej w zakresie od 0 do 1,8 T. Pola elektryczne uzyskano między okładkami specjalnie zbudowanego kondensatora powietrznego.

Kiełkowanie materiału siewnego określa się na podstawie dwóch pomiarów (szybkości i zdolności kiełkowania) zgodnie z tabelami normalizacyjnymi [PN-79/R-65950]. Dwa pomiary dokonane w odstępie kilku dni określają jakość tego materiału, ale nie informują, jak proces kiełkowania przebiega w czasie. Przy przedśiewnym oddziaływaniu na nasiona czynnikami fizycznymi pożądane jest określenie zmian zdolności kiełkowania w całym procesie. Jak wykazały wcześniejsze badania [Kornarzyński i Pietruszewski 1999, Pietruszewski 1999, Pietruszewski i Kornarzyński 1999], wpływ pól magnetycznych jest najsilniejszy w pierwszym etapie kiełkowania. Poznanie zmian zdolności kiełkowania pozwoli nie tylko na dokładniejsze określenie wpływu stosowanych pól na proces kiełkowania, ale również na dokładniejszy dobór wartości dawek ekspozycyjnych.

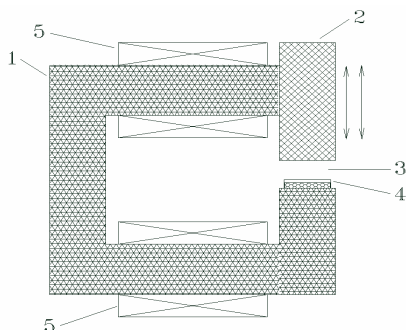
Celem przeprowadzonych badań było zastosowanie modeli matematycznych do opisu procesu kiełkowania nasion gryki siewnej (*Fagopyrum esculentum*) odmiany 'Hruszowska' ze zbiorów 2001 r., poddanych biostymulacji wybranymi dawkami stałego i zmiennego pola magnetycznego i elektrycznego, a następnie porównanie współczynników jakości dopasowania krzywej do wyników eksperymentalnych.

MATERIAŁ I METODY

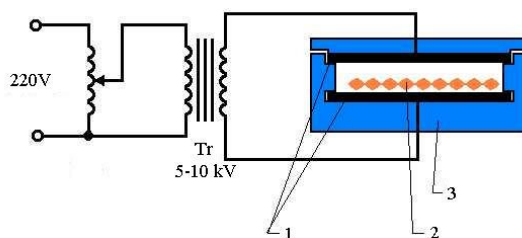
Nasiona, podzielone na pięć próbek po 100 sztuk, poddano biostymulacji zmiennym o częstotliwości $f = 50$ Hz i stałym polem magnetycznym, umieszczając je pomiędzy nabiegunnikami elektromagnesu (rys. 1), stałym i zmiennym, o częstotliwości $f = 50$ Hz, polem elektrycznym, w układzie dwóch elektrod (rys. 2).

Wybór dawek dokonany został na podstawie wcześniej przeprowadzonych i opublikowanych badań i polegał na tym, że zastosowane indukcje stałego i zmiennego pola magnetycznego, natężenia pól elektrycznych oraz czasy ekspozycji dawały pozytywny efekt dla nasion roślin zbożowych, krzyżowych i pomidorów, tzn. wykazujących większą zdolność kiełkowania w stosunku do próbki kontrolnej.

Następnie nasiona wysiano na podłożu z bibuły na płytkach Petriego. Ocena wpływu biostymulacji została dokonana na podstawie porównania względnych zdolności kiełkowania.



Rys. 1. Schemat elektromagnesu: 1 – rdzeń elektromagnesu, 2 – ruchoma część rdzenia, 3 – szczelina elektromagnesu, 4 – próbka z nasionami, 5 – uzwojenia cewek zasilających
 Fig. 1. Scheme of electromagnet: 1 – magnetic core, 2 – mobile magnetic core, 3 – air gap, 4 – sample of seeds, 5 – field coils



Rys. 2. Schemat układu do biostymulacji nasion zmiennym polem elektrycznym: 1 – okładki kondensatora powietrznego, 2 – nasiona, 3 – izolator
 Fig. 2. Scheme of arrangement for seeds biostimulation with alternating electric field: 1 – air capacitor, 2 – seeds, 3 – insulating plate

Zastosowane dawki umożliwiły podział nasion na następujące trzy grupy:

- (B_{zm1}): poddane działaniu zmiennego pola magnetycznego o indukcji magnetycznej, $B = 30$ mT przez 30 s, (B_{zm2}): poddane działaniu zmiennego pola magnetycznego o indukcji magnetycznej, $B = 30$ mT przez 120 s, (B_{zmk}): próbka kontrolna,
- (B_{st1}): poddane działaniu stałego pola magnetycznego o indukcji $B = 1$ T przez 60 s, (B_{st2}): poddane działaniu stałego pola magnetycznego o indukcji $B = 100$ mT przez 60 s, (B_{stk}): próbka kontrolna,
- (E_{zm1}): poddane działaniu zmiennego pola elektrycznego o natężeniu $E = 5$ kV/cm przez 30 s, (E_{st1}): poddane działaniu stałego pola elektrycznego o natężeniu $E = 10$ kV/cm przez 30 s, (E_{ek}): próbka kontrolna.

Szczegółową ocenę żywotności nasion można uzyskać przez zastosowanie opracowanego modelu analitycznego [Gładyszewska i in. 1999]. Opierając się na rozumowaniu wynikającym z obserwacji doświadczalnej, postawiono hipotezę roboczą: względna szybkość kiełkowania nasion jest proporcjonalna do różnicy między końcową liczbą wykiełkowanych nasion n_k a liczbą nasion $n(t)$ wykiełkowanych po danym czasie t :

$$\frac{dn}{n(t) \cdot dt} = \alpha_p \cdot (n_k - n(t)) \quad (1)$$

gdzie α_p jest empirycznie wyznaczanym współczynnikiem proporcjonalności. Hipoteza ta wynika z analogii procesu kiełkowania do procesów wzrostu dowolnych obiektów lub systemów opisywanych funkcją logistyczną. Podejście takie sugerują obserwacje doświadczalne kiełkowania. Rozwiązując równanie (1) przy założeniu początkowym $n(t = t_0) = 1$ (w takim przypadku za chwilę t_0 przyjmujemy czas, po którym wykiełkowało jedno nasiono) otrzymujemy równanie analogiczne do prawa Verhulsta-Pearla znanego z teorii kinetyki populacji, ale opisujące liczbę kiełkujących nasion w czasie:

$$n(t) = \frac{n_k}{1 + (n_k - 1) \cdot e^{-\alpha_p \cdot n_k \cdot (t - t_0)}} \quad (2)$$

Współczynnik α_p decyduje o rozciągłości krzywej kiełkowania w czasie, zaś t_0 charakteryzuje czas wyjścia z etapu utajonego rozwoju nasiona i rozpoczęcie etapu formowania kiełków. W funkcję (2) wpisano punkty eksperymentalne metodą najmniejszych kwadratów, przyjmując do optymalizacji oszacowania zgodności wyrażenie:

$$X = \sum_{i=1}^K (n_A(t_i) - n(t_i))^2 \quad (3)$$

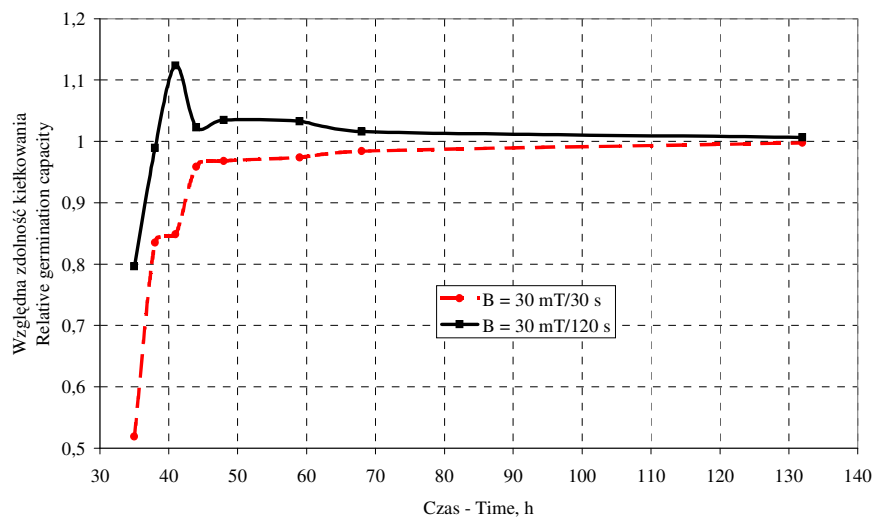
gdzie $n_A(t_i)$ jest wartością wynikającą z zaproponowanego modelu, a $n(t_i)$ wartością eksperymentalną liczby kiełkowań po czasie t_i . K jest liczbą wszystkich dokonanych zliczeń. Parametry: t_0 i α_p zostały dopasowane do danego modelu za pomocą programu komputerowego „McKieł” [Gładyszewski 1999].

Jedynym modelem pozwalającym na interpretację wszystkich doświadczalnych krzywych kiełkowania (uzyskanych w różnych warunkach kiełkowania, jak i dla różnych rodzajów i odmian nasion) jest model symulacyjny [Gładyszewska i Koper 1999], wykorzystujący metodę Monte Carlo, opierający się o przesłanki teoretyczne wynikające z fizjologii nasion, sugerujące, iż proces kiełkowania składa się z trzech sukcesywnie następujących po sobie etapów: fizycznego, biochemicznego i fizjologicznego. Model ten zakłada, że prawdopodobieństwo wyjścia nasiona z każdego etapu rozwoju jest określone oraz że proces kiełkowania ma charakter sukcesywny, tzn. nasiono nie może przejść np. do etapu fizjologicznego bez wcześniejszego wyjścia z etapu fizycznego. Wobec braku danych liczbowych określających prawdopodobieństwa przechodzenia nasiona z jednego etapu do drugiego, proces kiełkowania symulowano dla różnych prawdopodobieństw przejścia nasiona do etapu wyższego: p_{0-1} , p_{1-2} , p_{2-3} , przy czym p_{2-3} jest prawdopodobieństwem, że nasiono uformuje kiełek, czyli zostanie uznane za wykiełkowane. Nie są to prawdopodobieństwa zdarzeń niezależnych, zatem ich suma nie musi być równa jedności. Dopasowanie krzywej modelowej do punktów doświadczalnych następuje za pomocą programu komputerowego „McKieł”.

Dla obu modeli wyznaczyć można „jakość dopasowania”, która wyrażana jest liczbą $J_D = \text{suma (wartość doświadczalna - wartość modelowa)}^2$, im jest ona większa, tym dopasowanie gorsze.

WYNIKI I DYSKUSJA

Na rysunkach 3, 4 i 5 przedstawiono względną zdolność kiełkowania nasion gryki od momentu wykiełkowania pierwszych nasion do czasu, aż wszystkie nasiona wykiełkowały. Z przedstawionych wykresów widać, że wpływ biostymulacji występuje w pierwszych godzinach kiełkowania. Po 60 godzinach względna zdolność kiełkowania była równa 1, a więc nie występowały różnice między liczbą wykiełkowanych nasion biostymulowanych a liczbą wykiełkowanych nasion grupy kontrolnej.



Rys. 3. Względna zdolność kiełkowania nasion gryki biostymulowanych zmiennym polem magnetycznym

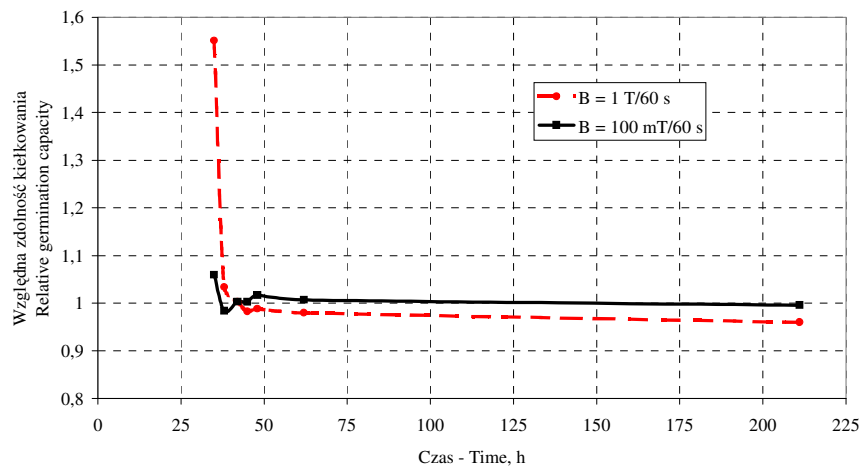
Fig. 3. Relative germination capacity of buckwheat seeds biostimulated with alternating magnetic field

Z rysunku 4 widać, że największy dodatni wpływ na kiełkowanie w początkowym jego okresie miało stałe pole magnetyczne $B = 1\text{ T}$, $t = 60\text{ s}$. Liczba wykiełkowanych nasion biostymulowanych była o 50% wyższa od liczby wykiełkowanych nasion grupy kontrolnej. Równie silnie oddziaływało stałe pole elektryczne, zwiększając zdolność kiełkowania o 15%.

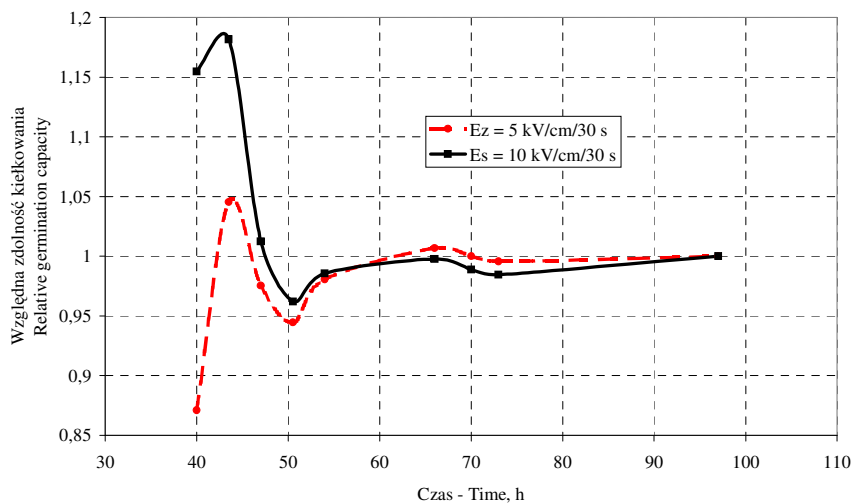
Przytoczone wyniki jeszcze raz potwierdziły, że pola magnetyczne i elektryczne mają wpływ na kiełkowanie w początkowym etapie tego procesu.

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono dopasowanie modelu symulacyjnego i analitycznego (krzywej logistycznej) do danych eksperymentalnych. Dla każdej dawki eksperymentalnej i rodzaju modelu podano wartość jakości dopasowania. Z przytoczonych danych wynika, że generalnie lepsze dopasowanie uzyskano dla modelu symulacyjnego, o czym świadczą niższe wartości współczynnika jakości dopasowania J_D . Najniższą wartość współczynnika jakości dopasowania $J_D = 336,77$ uzyskano dla modelu analitycznego opisującego kiełkowanie nasion poddanych działaniu stałego pola magnetycz-

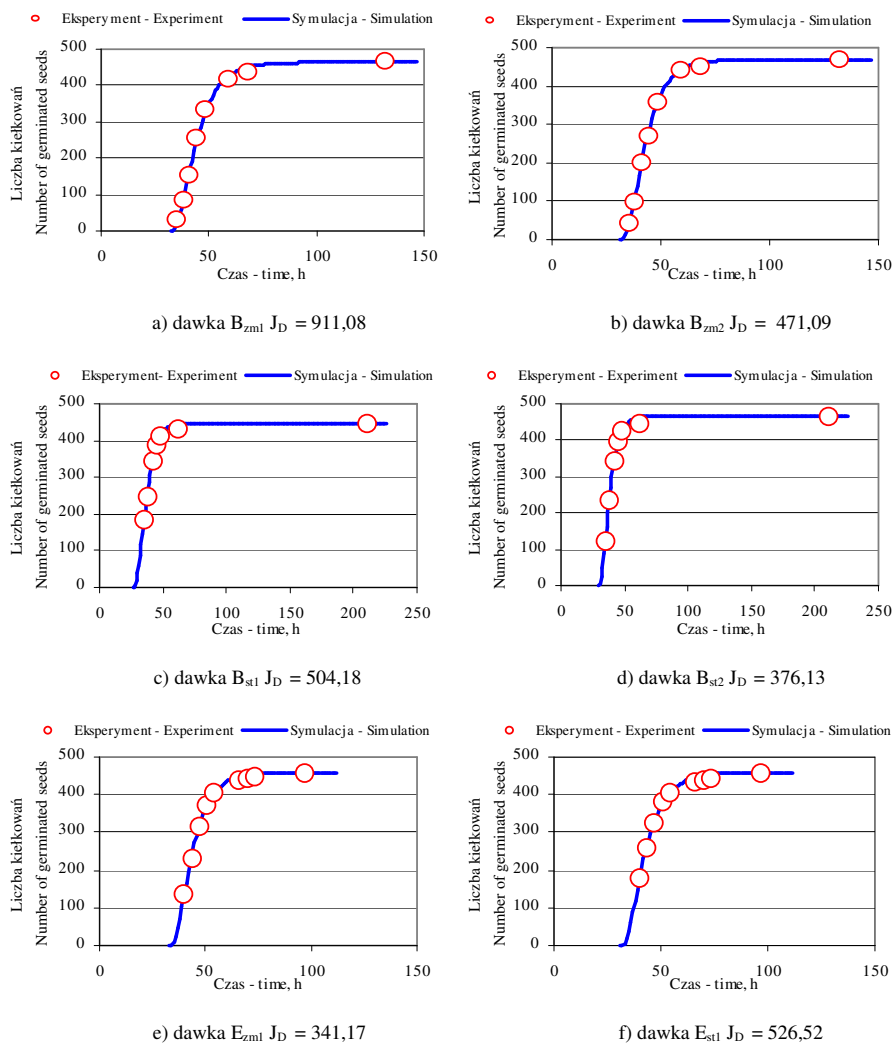
nego o indukcji $B = 1 \text{ T}$ i czasie ekspozycji $t = 60 \text{ s}$. Nasiona biostymulowane tą dawką ekspozycyjną w pierwszym okresie kiełkowania miały o 50% większą zdolność kiełkowania niż nasiona grupy kontrolnej (rys. 4).



Rys. 4. Względna zdolność kiełkowania nasion gryki biostymulowanych stałym polem magnetycznym
Fig. 4. Relative germination capacity of buckwheat seed biostimulated with stationary magnetic field



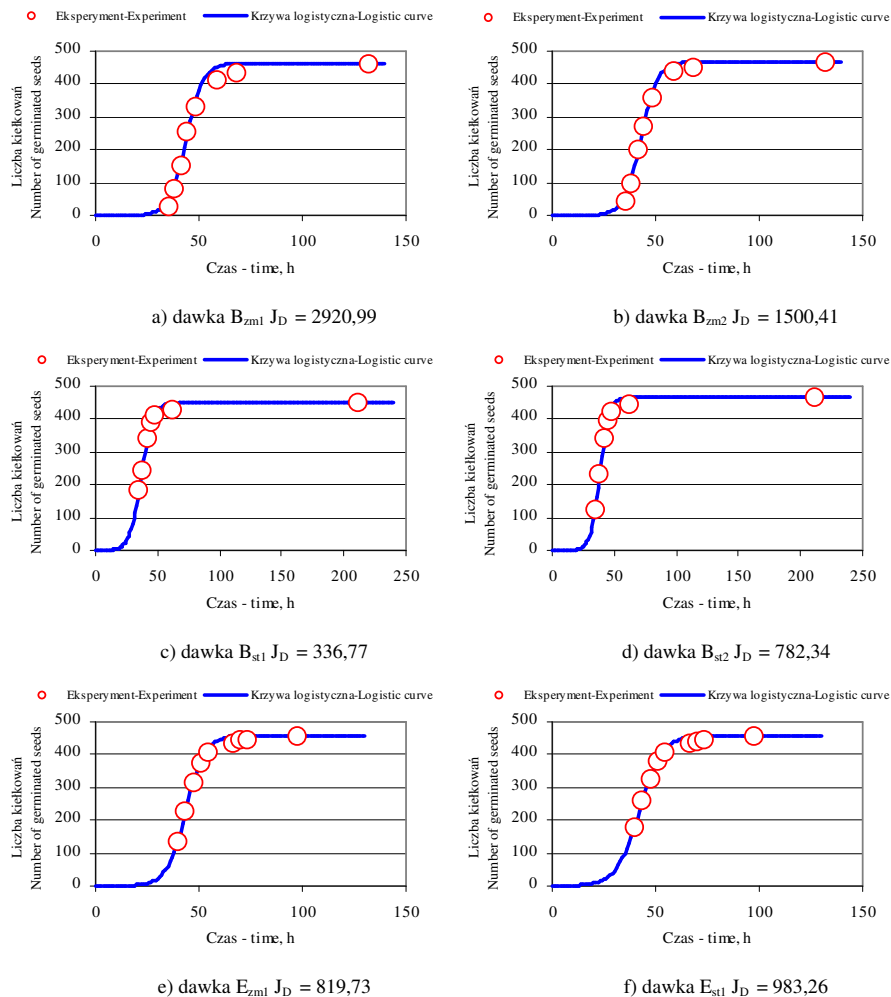
Rys. 5. Względna zdolność kiełkowania nasion gryki biostymulowanych stałym i zmiennym polem elektrycznym
Fig. 5. Relative germination capacity of buckwheat seed biostimulated with stationary and alternating electric field



Rys. 6. Doświadczalne zależności liczby kiełkowań uzyskane dla nasion biostymulowanych (punkty) oraz zależności wynikające z modelu symulacyjnego (linia ciągła)

Fig. 6. Experimental dependences number of germinations obtained for biostimulated seeds (points) and theoretical ones by the simulation model (solid line)

Podsumowując, możemy stwierdzić, że oba modele dobrze odwzorowują proces kiełkowania nasion gryki biostymulowanych przedsięwzięciami stałymi i zmiennymi polami magnetycznymi i elektrycznymi. Należy jednak pamiętać, że zastosowanie tych modeli do opisu procesu kiełkowania nasion odnosi się do tego konkretnego przypadku. Dla innych nasion i innych dawek ekspozycyjnych zgodność krzywych modelowych



Rys. 7. Doświadczalne zależności liczby kiełkowań uzyskane dla nasion biostymulowanych (punkty) oraz zależności wynikające z modelu analitycznego (linia ciągła)

Fig. 7. Experimental dependences number of germinations obtained for biostimulated seeds (points) and theoretical ones by the analytical model (solid line)

z krzywymi eksperymentalnymi może być bardziej albo mniej zadowalająca. Dowodem na to jest szczególny przypadek stałego pola magnetycznego $B = 1 \text{ T}$ i $t = 60 \text{ s}$, dla którego uzyskano najlepszą jakość dopasowania.

O najlepszej zgodności krzywych modelowych i eksperymentalnych świadczy współczynnik jakości dopasowania modelu J_D , który został obliczony metodą najmniejszych kwadratów, w stosunku do danych doświadczalnych. Wyznaczenie szybkości

kiełkowania (liczby wykiełkowanych nasion w czasie t_n) przeprowadzone zostało dla grupy 500 nasion (pięć próbek po sto nasion) każdej dawki zastosowanego pola, po przyjęciu założenia, że dokładność zliczania nasion, a tym samym błąd pomiarowy, wynosi jeden ($\Delta n = 1$). Inaczej mówiąc, jest to błąd subiektywny wyboru i uznania jakiegoś nasiona, za wykiełkowane.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone pomiary potwierdziły pozytywny wpływ magnetycznej i elektrycznej biostymulacji nasion gryki na ich energię i zdolność kiełkowania w początkowym okresie tego procesu.

2. Najwyższą zdolność kiełkowania uzyskały nasiona poddane biostymulacji stałym polem magnetycznym o indukcji $B = 1$ T, zwiększając jej wartość o ok. 50% w porównaniu do grupy kontrolnej.

3. Najlepszą zgodność krzywej logistycznej z krzywą doświadczalną uzyskano dla stałego pola magnetycznego o indukcji $B = 1$ T i czasie ekspozycji $t = 60$ s, o czym świadczy najniższa wartość współczynnika dopasowania $J_D = 336,77$.

4. Dla obu zastosowanych pól i dawek ekspozycyjnych zdecydowanie lepiej kinetykę kiełkowania nasion gryki opisuje model symulacyjny.

PIŚMIENNICTWO

- Barnothy M. R. (red.), 1964. Biological Effect on Magnetic Fields. vol. 1. Plenum Press, New York.
- Barnothy M. R. (red.), 1969. Biological Effect on Magnetic Fields. vol. 2. Plenum Press, New York.
- Gładyszewska B., Koper R., Kornarzyński K., 1999. Matematyczny model procesu kiełkowania nasion. Inżynieria Rolnicza 2, 7–12.
- Gładyszewska B., Koper R., 2000. Monte Carlo simulation of the seed germination process. Ann. Rev. Agricult. Eng. 2(1), 91–98.
- Gładyszewski G., 1999. Program komputerowy "McKiel". Instytut Fizyki, Politechnika Lubelska.
- Kornarzyński K., Pietruszewski S., 1998. Effect of Stationary Magnetic Field on Germination of Wheat Grain. Int. Agrophysics 13, 457–461.
- Pietruszewski S., 1998. Stanowisko do przedśiewnej biostymulacji nasion zmiennym polem magnetycznym. Inżynieria Rolnicza 2(3), 31–36.
- Pietruszewski S., 1999. Magnetyczna biostymulacja materiału siewnego pszenicy jarej. Rozprawy Naukowe AR w Lublinie (220).
- Pietruszewski S., 1999. The Influence of the Pre-sowing Magnetic Biostimulation on Germination and Yield of Wheat. Int. Agrophysics 13, 241–244.
- Pietruszewski S., Kornarzyński K., 1999. Magnetic Biostimulation of Wheat Seeds. Int. Agrophysics 13, 497–501.
- Presman A. S., 1971. Pole elektromagnetyczne a żywa przyroda. PWN. Warszawa.
- Wadas R. S., 1991. Biomagnetism. PWN Warszawa.

**APPLICATION OF ANALYTIC AND SIMULATION MODELS
TO DESCRIPTION OF GERMINATION PROCESS OF BUCKWHEAT
SEEDS BIOSTIMULATED MAGNETIC AND ELECTRIC FIELD**

Abstract. In this work the results of research of pre-sowing alternating magnetic and electric field biostimulation of frequency $f = 50$ Hz on buckwheat seed are shown. The seeds were divided into five samples of 100 units each and biostimulated with stationary and alternating magnetic field, stationary and alternating electric field and then placed on Petri dishes. The estimation of biostimulation influence was calculated on the basis of periodic count of germinated seeds and with the use of two mathematical models. On the basis of the calculations it was ascertained that the analytic model transcribes the experimental results of electrically stimulated seeds well, while for the rest of the samples the quality of curve matching is much worse. The simulation model better describes the process of germinating for every doses and fields used.

Keywords: magnetic biostimulation of seeds, electric biostimulation of seeds, germination capacity, simulation and analytic models

Stanisław Pietruszewski, Katedra Fizyki, Akademia Rolnicza w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, e-mail: stape@ursus.ar.lublin.pl

Krzysztof Kornarzyński, Katedra Fizyki, Akademia Rolnicza w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, e-mail: fizar19@ursus.ar.lublin.pl

Bożena Gładyszewska, Katedra Fizyki, Akademia Rolnicza w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, e-mail: broz@ursus.ar.lublin.pl