

Mikołaj SKOWRON

BIOSTYMULACJA NASION LNIANKI SILNYM STAŁYM POLEM MAGNETYCZNYM

STRESZCZENIE *Nauka o związkach między materia żywą a polem elektromagnetycznym stanowi dynamicznie rozwijającą się dyscyplinę wiedzy. Do tego rozwoju przyczynia się burzliwy wzrost liczby źródeł pola elektromagnetycznego oddziałujących na środowisko. Jednocześnie następuje wzrost potencjału badawczego: eksperymentalnego, biochemicznego i biofizycznego oraz technik symulacyjnych. Wszystko to tworzy nową przestrzeń dla poznania zjawisk występujących na styku biologii i fizyki [1]. Niniejsza publikacja przedstawia badania przedsięwziętej biostymulacji silnym polem magnetycznym na ziarniki lnianki. Przedstawione zostało stanowisko do badania biostymulacji ziarniaków, modelowanie ziarniaków w polu magnetycznym oraz wyniki badań laboratoryjnych dotyczących wysiewu ziarniaków w kielkowniku Jacobsona na wilgotnej bibule.*

Słowa kluczowe: pole magnetyczne, biostymulacja polem magnetycznym, magnes nadprzewodnikowy.

1. WSTĘP

Wpływ pola magnetycznego na organizmy żywe w tym na kiełkowanie nasion i wzrost roślin, był znany już w XIX wieku, jednak badania nad tym zjawiskiem nie zostały podjęte. Gwałtowny wzrost zainteresowania wpływem

mgr inż. Mikołaj SKOWRON
e-mail: mskowron@agh.edu.pl

Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 243, 2009

i wykorzystaniem pola magnetycznego do biostymulacji rozwinął się w drugiej połowie XX wieku [4]. Problem ten jest daleki do całkowitego wyjaśnienia z uwagi na skomplikowaną naturę fizyczną jak i geometrię obiektów.

Pole magnetostatyczne może przenikać przez organizmy żywe praktycznie nie zakłócone. Dlatego wszystkie tkanki, wnętrza komórek są poddane działaniu tego pola. Pola magnetyczne może oddziaływać na organizmy żywe:

- poprzez oddziaływanie elektrodynamiczne z występującymi w organizmach prądami elektrycznymi (siła Lorentza i efekt Halla),
- ruch organizmu żywego względem pola magnetycznego może być przyczyną zaindukowania prądów,
- wewnątrz organizmów powstają efekty magnetomechaniczne polegające na orientacji struktur o anizotropii magnetycznej w polach jednorodnych oraz przesunięcia substancji ferromagnetycznych i paramagnetycznych w polach mających niezerowe gradienty,
- zachodzić też może oddziaływanie na nieskompensowane spiny magnetyczne pierwiastków paramagnetycznych i wolnych rodników,
- możliwy jest też efekt Zeemana, czyli rozszczepianie się linii widmowych atomów umieszczonych w polu magnetostatycznym na składowe różniące się nieco liczbami falowymi,
- może zachodzić też efekt Dorfmana polegający na przeorientowaniu się protein w polu magnetostatycznym wskutek anizotropii tych molekuł,
- zewnętrzne pole magnetyczne zmienia właściwości ciekłych kryształów i nie pozostaje w związku z tym bez wpływu na właściwości membran, organelli komórkowych, a w konsekwencji bardziej złożonych układów,
- niektóre składniki organizmów żywych wykazują własności magnetostrykcyjne. Istnieje zatem możliwość oddziaływania na takie składniki,
- pole magnetostatyczne może mieć wpływ na wodę, która poddana działaniu zewnętrznego pola zmienia swoje właściwości: wzrasta szybkość krystalizacji, stężenie rozpuszczonych gazów, szybkość koagulacji i osiadania zawiesin. Zmienia się pH i zdolność zwilżania [7].

2. STANOWISKO DO BIOSTYMULACJI ZIARNIAKÓW SILNYM STAŁYM POLEM MAGNETYCZNYM

Nadprzewodnictwo odkryte w 1911 r. przez Kamerlinga Onnesa, ma wielorakie zastosowania. Jednym z nich jest wzbudzenie silnych pól magnetycznych. Pola te znajdują szereg zastosowań, m.in. separacja magnetyczna, lewitacja elektromagnetyczna itp. Zdaniem autora mogą znaleźć zastosowanie także do biostymulacji.

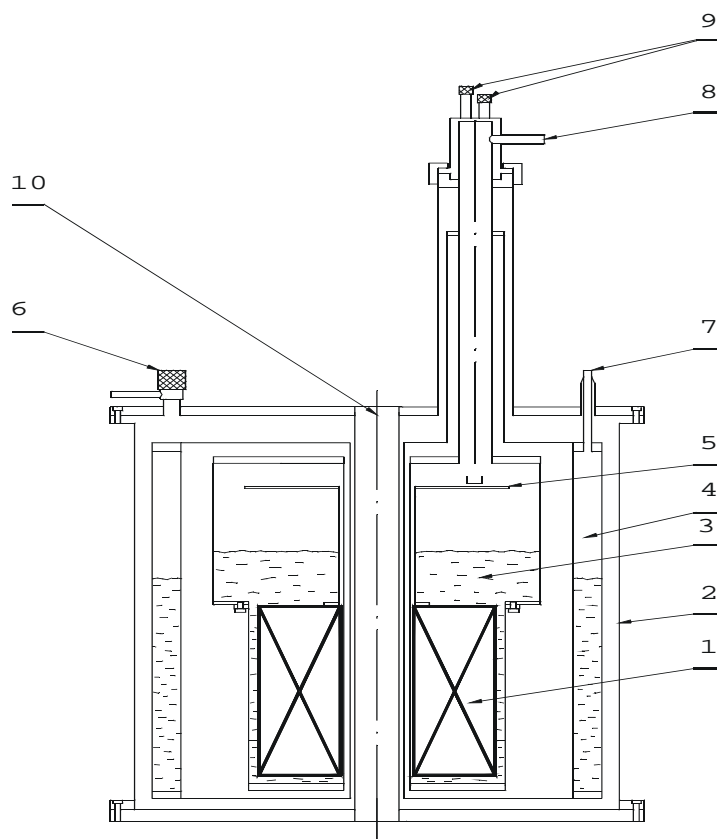
Autor dysponuje elektromagnesem o unikalnej w skali kraju konstrukcji, w którym pole magnetyczne – dostępne w temperaturze otoczenia – może osiągnąć wartość do 6 T.

TABELA 1

Ogólna charakterystyka elektromagnesu

• maksymalna wartość indukcji magnetycznej:	$B_0 = 6,0$ [T]
• prąd zasilania (dla uzyskania indukcji maksymalnej):	$I_{zas} = 27,7$ [A]
• typ nadprzewodnika:	I.M.I. Niomax S
• indukcyjność uzwojenia:	130 [H]
• średnica przelotowego kanału kriostatu:	54 [mm]
• nominalne odparowanie ciekłego helu z kriostatu (praca w systemie persistent mode):	100 [ml/h]
• szybkość odparowania azotu:	350 [ml/h]
• położenie centrum pola magnetycznego:	293 [mm] (od dna kriostatu)

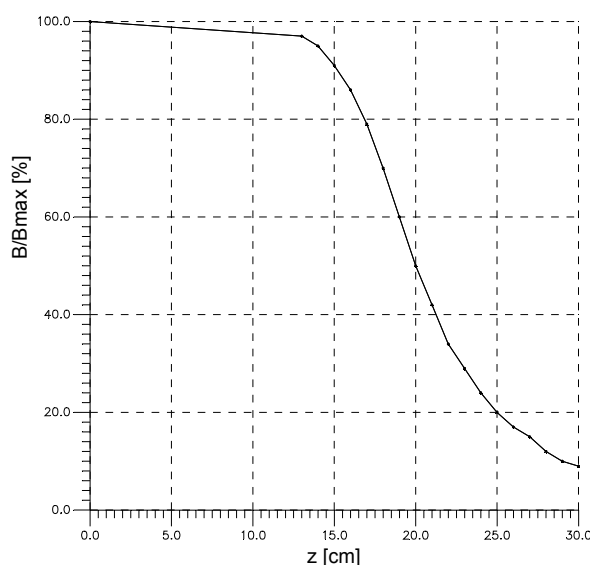
Schemat elektromagnesu przedstawia rysunek 1.

**Rys. 1. Schemat elektromagnesu nadprzewodnikowego użytego do badań;**

1 – uzwojenie magnesu nadprzewodnikowego, 2 – kriostat, 3 – ciekły hel, 4 – naczynie azotowe, 5 – płyta przyłączeniowa, 6 – zawór próżniowy, 7 – wlew ciekłego azotu, 8 – wylot helu gazowego, 9 – króćce wylotowe ciekłego helu, 10 – kanał magnesu

Jest to urządzenie skonstruowane w kształcie walca z cylindrycznym otworem przelotowym usytuowanym pionowo. Kriostat wykonany jest ze stopu aluminium, jego średnica zewnętrzna wynosi 565 mm, wysokość kriostatu: 1000 mm, wysokość kriostatu z kolektorem helu gazowego: 1540 mm, wysokość kriostatu z konstrukcją nośną: 2070 mm, natomiast średnica otworu przelotowego ("gorącego" kanału) 54 mm. Kriostat jest naczyniem dwuciennym. Między ścianami utrzymywana jest próżnia o ciśnieniu 10^{-3} [Pa]. W przestrzeni tej znajduje się zbiornik azotu połączony z ekranem azotowym. Koncentrycznie w stosunku do zbiornika azotowego jest umieszczony zbiornik ciekłego helu, w którym znajduje się uzwojenie nadprzewodnikowe.

Na rysunku 2 przedstawiono pomierzony rozkład względnej wartości indukcji pola magnetycznego w kanale elektromagnesu. Widać, że rozkład ten (składowa indukcji wzdłuż osi z uzwojenia) jest bardzo korzystny z punktu widzenia prowadzenia badań nad biostymulacją. Zatem cały obszar, w którym zachodzi proces biostymulacji jest praktycznie w jednorodnym polu magnetycznym (próbki znajdują się w polu, którego wartość wynosi ok. 95% B_{max}) [3].



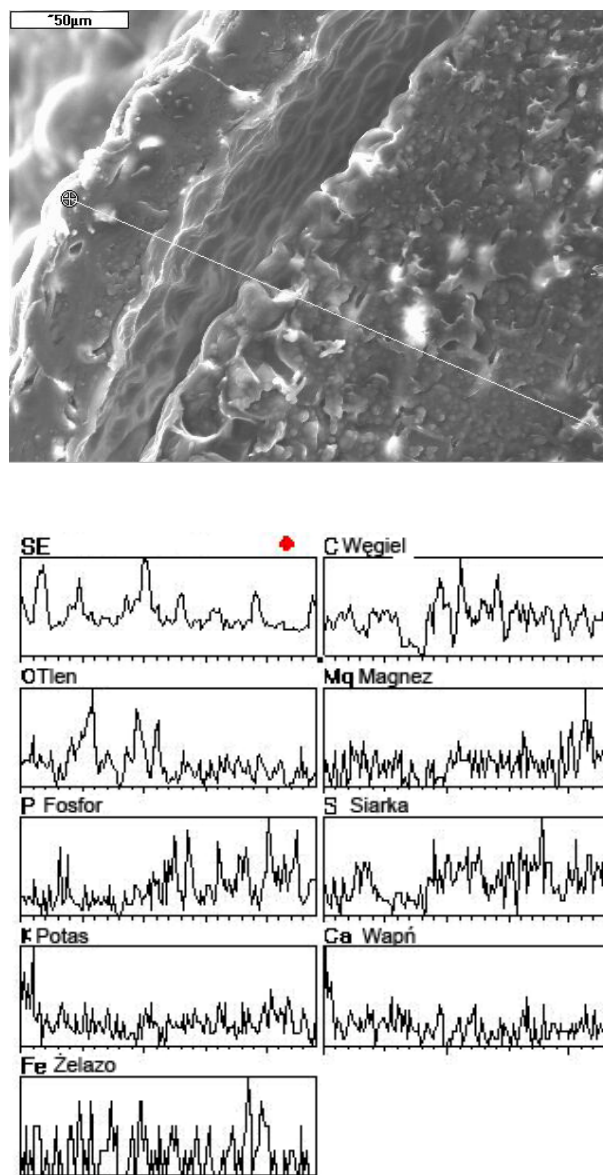
Rys. 2. Rozkład względnej wartości indukcji magnetycznej w osi kanału elektromagnesu

Biostymulacja polegała na umieszczeniu w gorącym kanale pojemnika z ziarniakami, na określony czas.

3. BADANIA ZIARNIAKA LNIANKI MIKROSKOPEM SKANINGOWYM

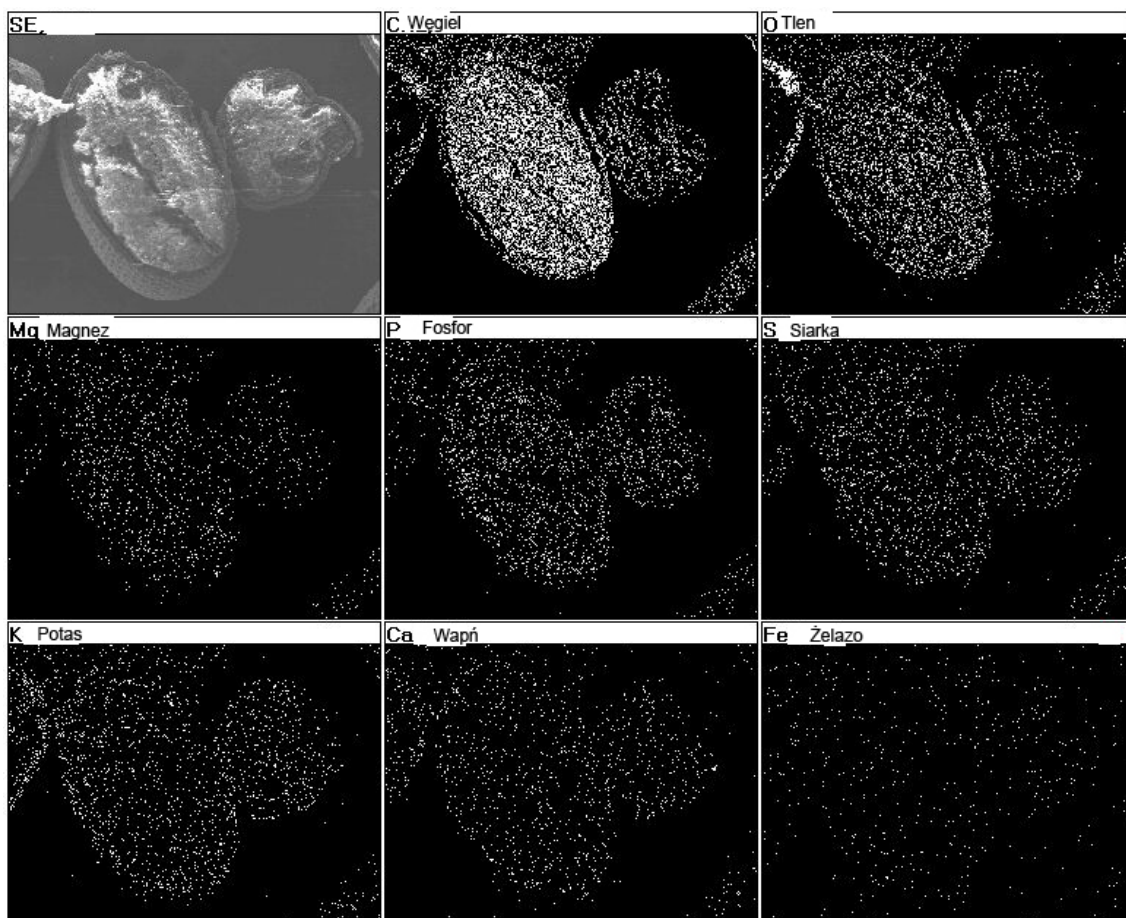
Przeprowadzone zostały badania mikroskopem skaningowym, zaobserwowano strukturę wewnętrzną przekroju ziarniaków lnianki. Dzięki nim można

określić rozkład pierwiastków znajdujących się na powierzchni badanej próbki, odpowiednio w całym przekroju, na zadanej linii lub wybranych punktach.



Rys. 3. Zdjęcia przekroju ziarniaka lnianki oraz rozkład pierwiastków chemicznych na powierzchni przekroju, wzdłuż zaznaczonej linii

Badania zostały przeprowadzone w Katedrze Technologii Ceramiki AGH. Do badań ziarniaków użyto mikroskopu skaningowego, zaobserwowano strukturę wewnętrzną przekroju ziarniaków. Dzięki nim można określić rozkład pierwiastków znajdujących się na powierzchni badanej próbki odpowiednie w całym przekroju, na zadanej linii lub odpowiednich punktach.



Rys. 4. Mapa rozkładu pierwiastków na części powierzchni ziarniaka Inianki

Rysunek 4 przedstawia mapę rozkładu pierwiastków chemicznych na powierzchniach przekroju ziarniaków Inianki. Można zaobserwować nierównomierny rozkład pierwiastków znajdujących się w ziarniaku. Fosfor i potas największą koncentrację mają na zewnętrznych warstwach. Natomiast żelazo skoncentrowane jest równomiernie w wewnętrznej warstwie.

Z fizycznego punktu widzenia ziarniak jest paramagnetykiem o niejednorodnej budowie, umieszczenie go w jednorodnym zewnętrznym polu magnetycznym powoduje zniekształcenie rozkładu pola. Wartości parametrów magnetycznych poszczególnych ziarniaków mogą być różne, i zależne od wielu czynników z których najważniejszymi są – wilgotność, budowa wewnętrzna, temperatura. Stopień zniekształcenia pola zależy od właściwości magnetycznych warstw ziarniaka.

Analityczne określenie rozkładu pola magnetycznego i efektów jego oddziaływania na ziarniaka z uwzględnieniem wszystkich czynników jest praktycznie niemożliwe. Nie sposób bowiem odwzorować w modelu złożonej struktury i wszystkich właściwości.

Rozważany model ziarniaka ma formę spłaszczonej, paramagnetycznej sferoidy składającej się z jądra i dwóch otaczających go warstw odpowiadających warstwie aleuronowej i okrywie owocowo nasiennej [7].

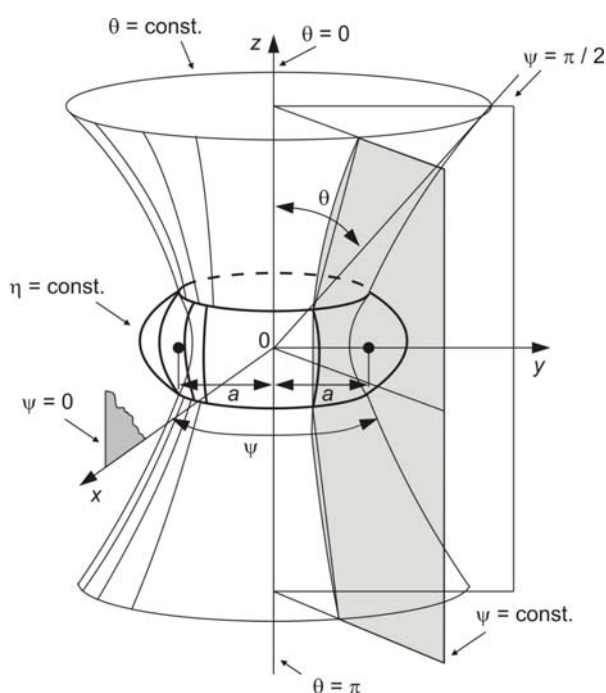
Na podstawie literatury oraz obserwacji mikroskopem skaningowym wywnioskowano, że ziarniaka Inianki można przedstawić do modelowania jako wielowarstwową, paramagnetyczną sferoidę spłaszczoną.

4. WSPÓŁRZĘDNE SFEROIDY SPŁASZCZONEJ

Układ współrzędnych sferoidy spłaszczonej tworzy się przez przyjęcie ortogonalnej rodziny współogniskowych elips i hiperbol i obrót dookoła mniejszych osi elips. Otrzymane powierzchnie współrzędnych są spłaszczonymi sferoidami, półpłaszczyznami i hiperboloidami jednopowłokowymi [5].

Współrzędne sferoidy spłaszczonej (η , θ , ψ) związane są ze współrzędnymi prostokątnymi za pomocą następujących zależności

$$\begin{aligned} x &= a \cosh \eta \sin \theta \cos \psi, \\ y &= a \cosh \eta \sin \theta \sin \psi, \\ z &= a \sinh \eta \cos \theta. \end{aligned} \quad (1)$$



Rys. 5. Współrzędne sferoidy spłaszczonej

Powierzchnie $\eta = \text{const.}$ są sferoidami spłaszczonymi

$$\frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1, \quad (2)$$

gdzie:

$$b = a \cosh \eta,$$

$$c = a \sinh \eta,$$

a – ogniskowa wszystkich sferoid rodziny.

Parametr η zmienia się od 0 do ∞ . Jeżeli $\eta = 0$ sferoida przyjmuje kształt odcinka o długości $2a$, leżącego na osi OZ. Dla $\eta \rightarrow \infty$ sferoida staje się kulą o nieskończenie dużym promieniu.

Zmienna θ zmienia się od 0 do π , przy czym wartość 0 związana jest z dodatnim kierunkiem osi z , w szczególnym przypadku $\theta = \pi/2$, hiperboloida przechodzi w płaszczyznę xy z kołowym otworem o promieniu a .

Natomiast zmienna ψ zmienia się w zakresie od 0 do 2π , jest to kąt mierzony dokoła osi z . Powierzchnie o stałych wartościach ψ są półpłaszczyznami przechodzącymi przez oś z .

Przez analogię dla θ można używać określenia „długość geograficzna” a dla ψ „szerokość geograficzna” [5, 6].

5. RÓWNANIE LAPLACE’A DLA WSPÓŁRZĘDNYCH SFEROIDY SPŁASZCZONEJ

We współrzędnych sferoidy spłaszczonej równanie Laplace’a ma postać [5]

$$\nabla^2 \phi = \frac{1}{a^2 (\cosh^2 \eta - \sin^2 \theta)} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial \eta^2} + \operatorname{tgh} \eta \frac{\partial \phi}{\partial \eta} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta^2} + \operatorname{ctg} \theta \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{a^2 \cosh^2 \eta \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \phi}{\partial \psi^2} = 0. \quad (3)$$

Przyjęto rozwiązanie równania (3) w postaci:

$$\phi = H(\eta) \Theta(\theta) \Psi(\psi). \quad (4)$$

Po rozdzieleniu zmiennych otrzymuje się układ równań

$$\frac{d^2 H}{d\eta^2} + \operatorname{tgh} \eta \frac{dH}{d\eta} + \left[-p(p+1) + \frac{q^2}{\cosh^2 \theta} \right] H = 0, \quad (5)$$

$$\frac{d^2\Theta}{d\theta^2} + \operatorname{ctg}\theta \frac{d\Theta}{d\theta} + \left[p(p+1) - \frac{q^2}{\sin^2\theta} \right] \Theta = 0, \quad (6)$$

$$\frac{d^2\Psi}{d\psi} + q^2\Psi = 0. \quad (7)$$

Rozwiązaniem ogólnym równania (7) jest wyrażenie

$$\Psi = A \cos q\psi + B \sin q\psi. \quad (8)$$

Natomiast rozwiązaniem równania (6) jest zależność

$$\Theta = AP_p^q(\cos\theta) + BQ_p^q(\cos\theta). \quad (9)$$

W celu rozwiązania równania (5) przyjmujemy, że:

$$\xi = i \sinh \eta, \quad (10)$$

i wstawiamy zależność (10) do równania (5). W rezultacie otrzymujemy równanie Legendre'a

$$(\xi^2 - 1) \frac{d^2 H}{d\xi^2} + 2\xi \frac{dH}{d\xi} - \left[p(p+1) + \frac{q^2}{\xi^2 - 1} \right] H = 0. \quad (11)$$

Jeżeli potencjał ϕ zależy tylko od współrzędnej η , równanie Laplace'a upraszcza się do wyrażenia:

$$\frac{d^2\phi}{d\eta^2} + \operatorname{tgh}\eta \frac{d\phi}{d\eta} = 0, \quad (12)$$

W przypadku modelowania ziarniaków istnieje symetria osiowa zatem potencjał jest tylko funkcją współrzędnej η , równanie Laplace'a ma postać (12). Rozwiązaniem ogólnym równania jest [5]:

$$\phi = A + B \operatorname{arctg}(\sinh \eta), \quad (13)$$

lub

$$\phi = C + D \operatorname{arctg}(\sinh \eta). \quad (14)$$

Do dalszych rozważań autor przyjmuje równanie (14). Dla rozważanego w artykule przypadku, przyjęto następujące warunki [8]:

$$\eta = \eta_0 \rightarrow \phi = \phi_0,$$

$$\eta \rightarrow \infty \rightarrow \phi = 0.$$

Podstawiając powyższe warunki do równania (14) otrzymano:

$$C = 0,$$

$$D = \frac{\phi_0}{\operatorname{arctg}(\sinh \eta_0)}. \quad (15)$$

Funkcja rozkładu potencjału ma zatem postać:

$$\phi(\eta) = \frac{\phi_0}{\operatorname{arctg}(\sinh \eta_0)} \operatorname{arctg}(\sinh \eta). \quad (16)$$

Natężenie pola magnetycznego można obliczyć z zależności

$$H = -\frac{1}{\sqrt{g_{11}}} \frac{d\phi}{d\eta}, \quad (17)$$

$$\frac{d\phi}{d\eta} = \frac{\phi_0}{\operatorname{arctg}(\sinh \eta_0)} \frac{1}{\cosh \eta}, \quad (18)$$

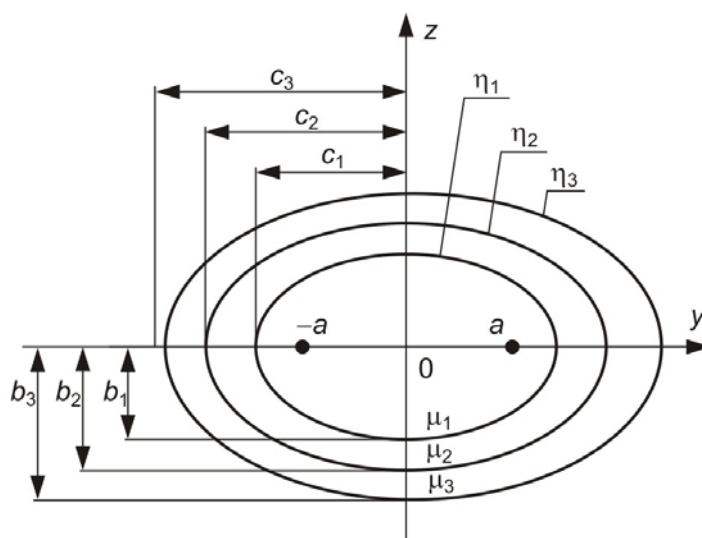
$$H = \frac{1}{a \sqrt{\cosh^2 \eta - \sin^2 \theta}} \frac{\phi_0}{\operatorname{arctg}(\sinh \eta_0)} \frac{1}{\cosh \eta}, \quad (19)$$

gdzie:

g_{11} – współczynnik metryki: $g_{11} = a^2 (\cosh^2 \eta - \sin^2 \theta)$ [8].

6. ANALIZA ROZKŁADU POLA W WIELOWARSTWOWEJ SFEROIDZIE SPŁASZCZONEJ UMIESZCZONEJ W JEDNORODNYM POLU MAGNETYCZNYM

W oparciu o rozważania przedstawione w rozdziałach 4 i 5 dokonano analizy rozkładu pola magnetycznego w wielowarstwowej sferoidzie spłaszczonej, umieszczonej w jednorodnym polu magnetycznym. Schemat modelu i założenia przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Trójwarstwowy model ziarniaka

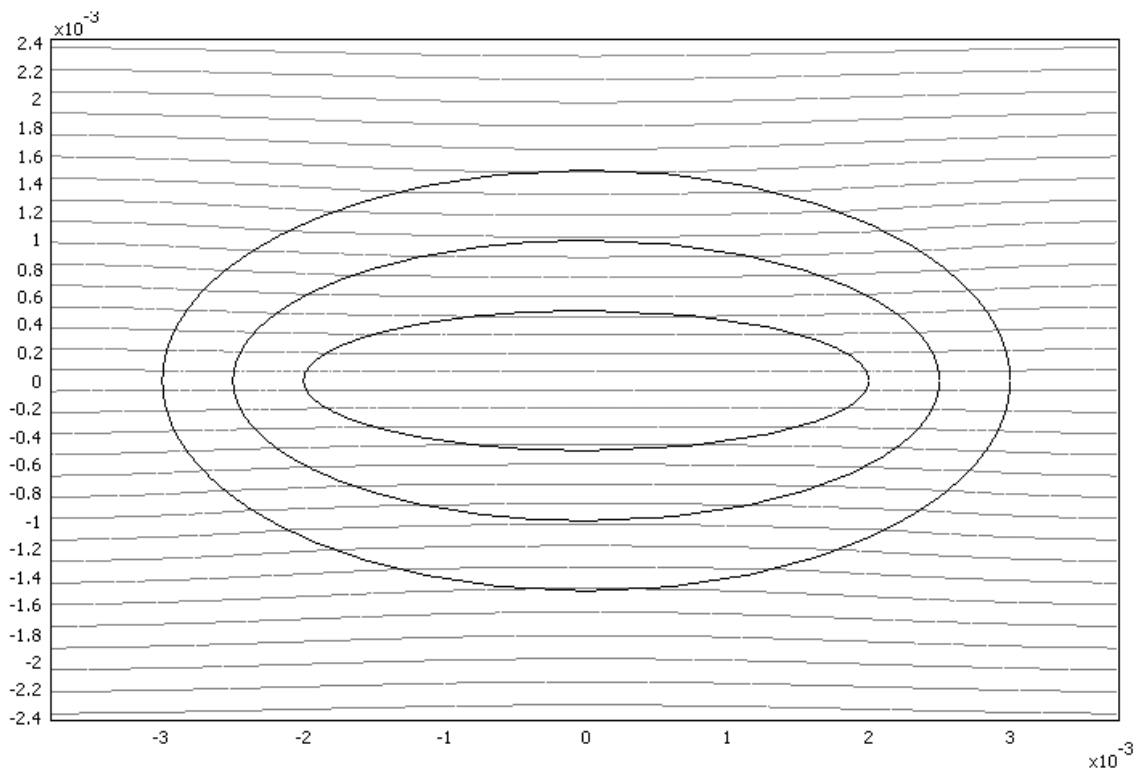
Poszczególne obszary w przyjętym układzie współrzędnych określone są w sposób następujący [2]:

1. warstwa wewnętrzna jądro sferoidy $0 \leq \eta \leq \eta_1$, $b_1 = 0,0005$ m, $c_1 = 0,002$ m, stała magnetyczna $\mu_1 = 1,3$,
2. warstwa środkowa $\eta_1 \leq \eta \leq \eta_2$, $b_1 = 0,001$ m, $c_1 = 0,0025$ m, stała magnetyczna $\mu_2 = 1,2$,
3. warstwa zewnętrzna $\eta_2 \leq \eta \leq \eta_3$, $b_1 = 0,0015$ m, $c_1 = 0,003$ m, stała magnetyczna $\mu_3 = 1,1$,
4. obszar na zewnątrz sferoidy $\eta_3 \leq \eta$ stała magnetyczna $\mu_4 = \mu_0 = 1$.

Przyjęto następujące założenia co do właściwości środowisk:

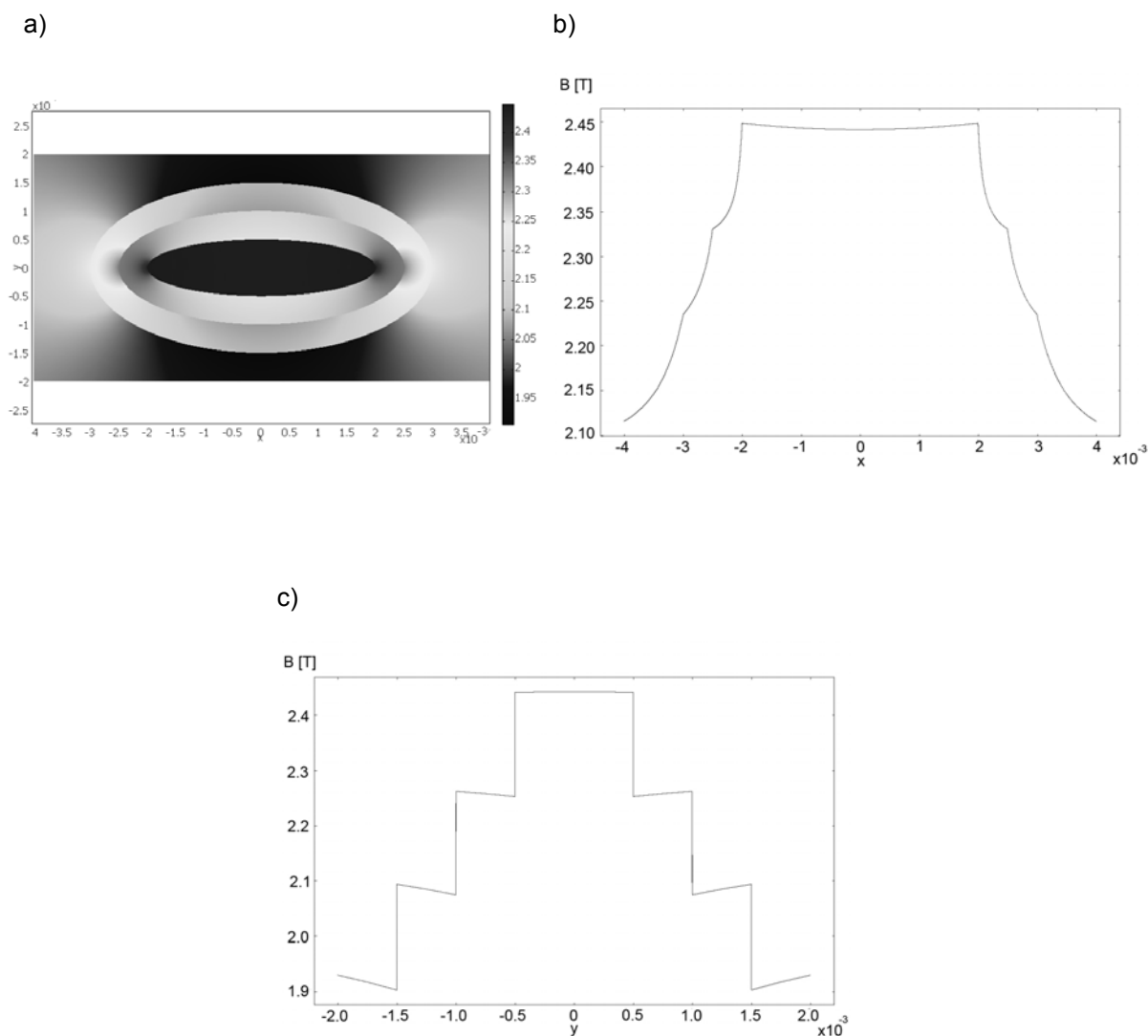
- każda z warstw sferoidy oraz środowisko otaczające (powietrze) jest izotropowe i liniowe,
- zmiany właściwości środowisk na granicach warstw są skokowe.

Na rysunku 7 pokazano rozkład linii potencjału magnetycznego wyznaczonego na podstawie zależności (16). Zgodnie z oczekiwaniami, obserwuje się zniekształcenie linii na granicach warstw. Jest to spowodowane większą przenikalnością magnetyczną warstw, niż otoczenia.



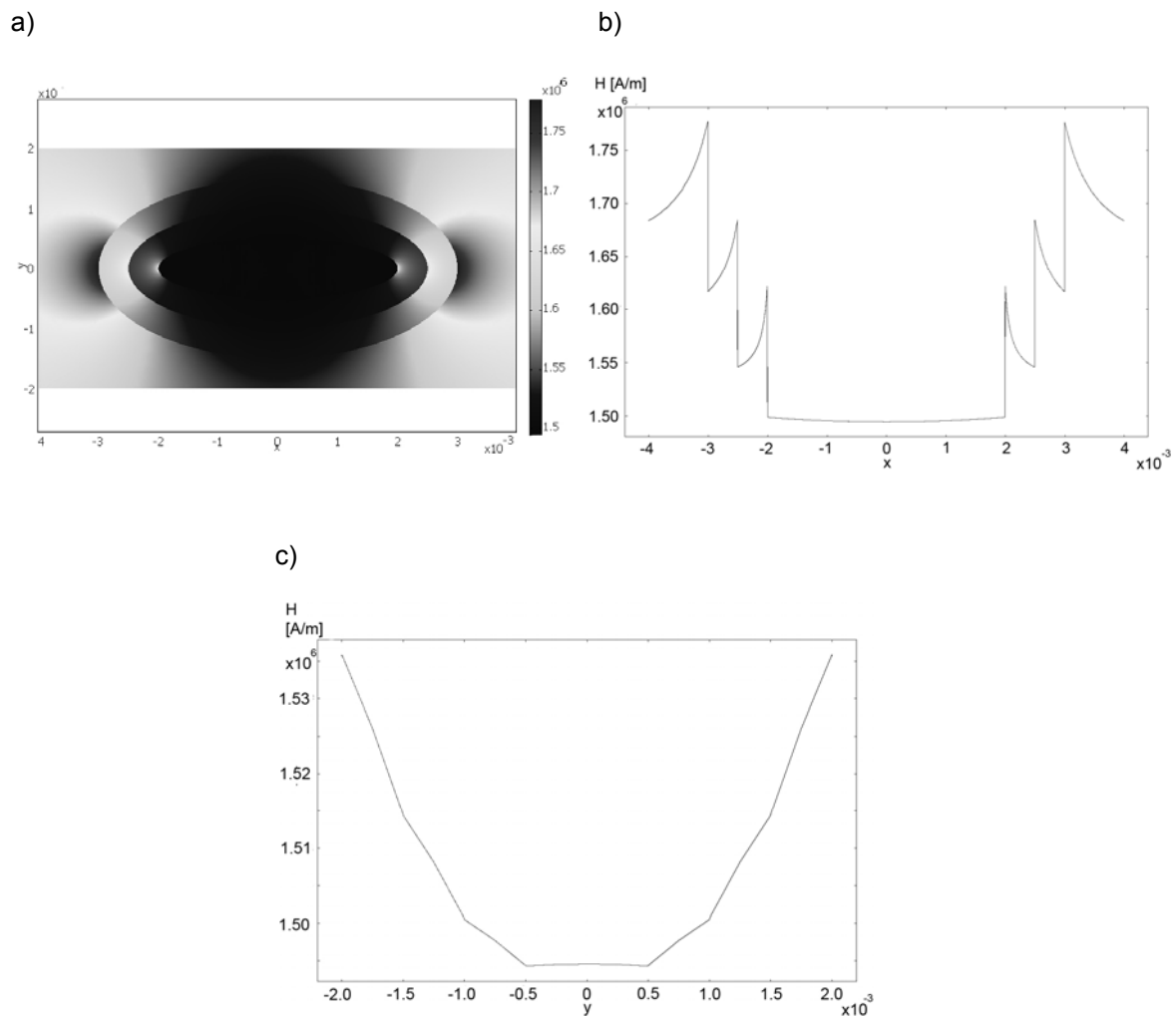
Rys. 7. Rozkład potencjału magnetycznego w środku oraz na zewnątrz stymulowanego ziarniaka

Widać, że wprowadzenie w obszar pola elementu o wartości przenikalności nieznacznie różniącej się od przenikalności otoczenia, prowadzi do znacznych zakłóceń rozkładu indukcji magnetycznej. Szczególnie duże zniekształcenia występują w obszarach małego promienia krzywizny (rys. 8a). Powoduje to jednak łagodne przejście między poszczególnymi warstwami (rys. 8b). Dla obszarów o dużym promieniu krzywizny zakłócenia są mniejsze, ale występują skokowe przejścia między warstwami (rys. 8c). Największa indukcja pola magnetycznego jest w obszarze największej przenikalności magnetycznej, w pozostałych warstwach koncentracja linii pola jest odpowiednio mniejsza, zależna od przenikalności magnetycznej warstwy.

**Rys. 8.**

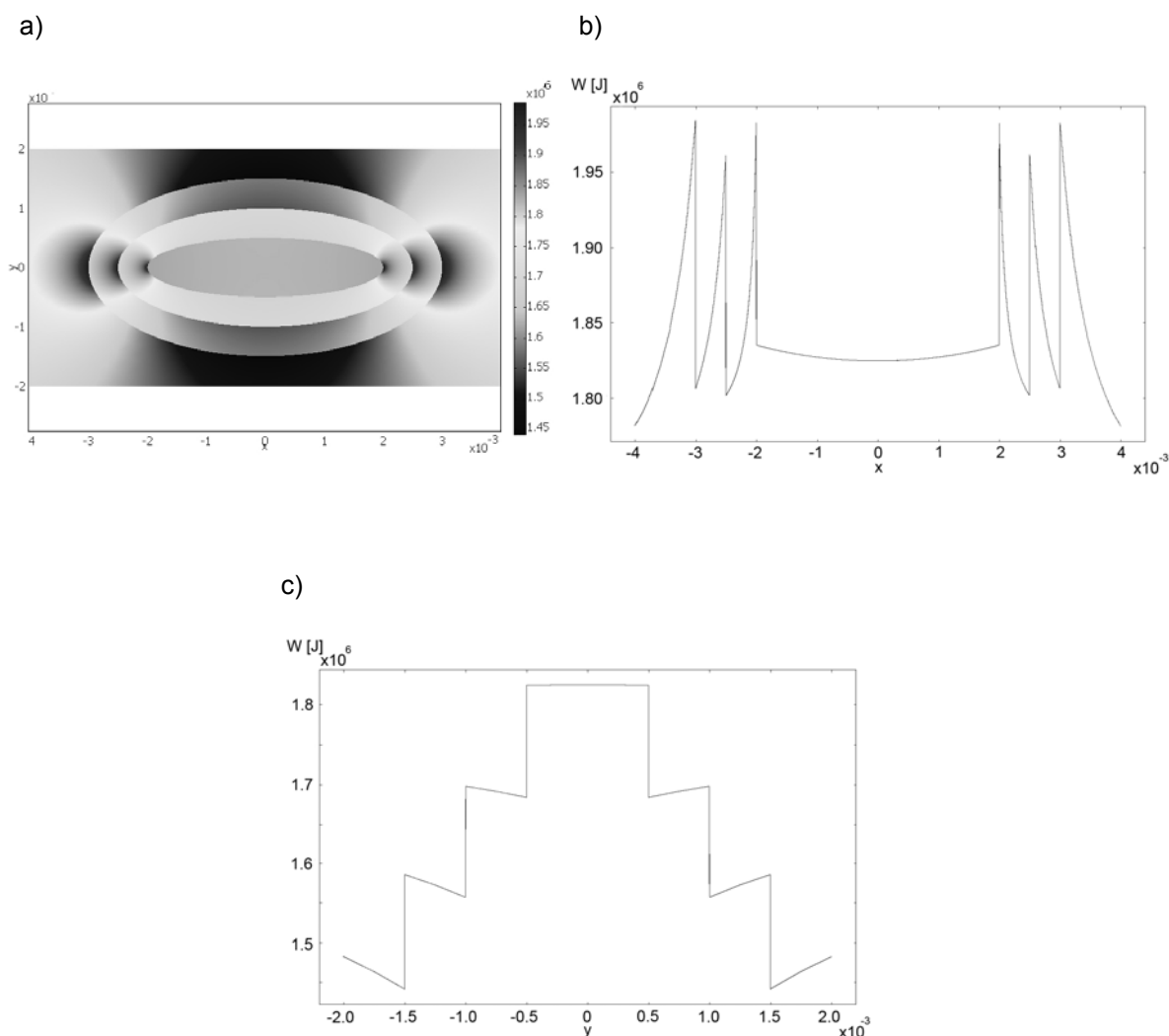
a) Rozkład indukcji magnetycznej dla całego ziarniaka, b) wykres indukcji magnetycznej dla odcinka o współrzędnych $y = 0$ i $-4 \cdot 10^3 < x < 4 \cdot 10^3$ c) wykres indukcji magnetycznej dla odcinka o współrzędnych $x = 0$ i $-2,4 \cdot 10^3 < y < 2,4 \cdot 10^3$

Zniekształcenia natężenia pola magnetycznego są analogiczne do zniekształceń indukcji magnetycznej tzn. największe występuje w obszarze krzywizn o małym promieniu a mniejsze w obszarze krzywizn o dużym promieniu (rys. 9a). Przejścia między warstwami przy krzywiznach o dużym promieniu są znacznie większe i skokowe niż przy przejściu w okolicach łagodnego promienia (rys. 9b,c)

**Rys. 9.**

a) Rozkład natężenia pola magnetycznego dla całego ziarniaka, b) wykres natężenia pola magnetycznego dla odcinka o współrzędnych $y = 0$ i $-4 \cdot 10^3 < x < 4 \cdot 10^3$, c) wykres natężenia pola magnetycznego dla odcinka o współrzędnych $x = 0$ i $-2,4 \cdot 10^3 < y < 2,4 \cdot 10^3$

Konsekwencją zmiany rozkładu pola magnetycznego warstw ziarniaka jest zmiana rozkładu energii pola magnetycznego. Największa energia pola magnetycznego zgromadzona jest w obszarze o największej przenikalności magnetycznej. Analogicznie do wcześniejszych prezentowanych rozkładów największe zniekształcenia występują w okolicach małych promieni krzywizn, najmniejsze przy największych promieniach. Jednakże zmiany energii przy przejściach między obszarami są w obu obszarach bardzo gwałtowne, nie liniowe. W okolicach dużych krzywizn energia zmienia się schodkowo, w obszarach krzywizn o małym promieniu zmiany energii są bardzo duże tworząc skoki o znacznej wartości [2].

**Rys. 10.**

a) Rozkład energii pola magnetycznego dla całego ziarniaka, b) wykres energii pola magnetycznego dla odcinka o współrzędnych $y = 0$ i $-4 \cdot 10^3 < x < 4 \cdot 10^3$, c) wykres energii pola magnetycznego dla odcinka o współrzędnych $x = 0$ i $-2,4 \cdot 10^3 < y < 2,4 \cdot 10^3$

7. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Wpływ pola magnetycznego na organizmy żywe był znany już w XIX wieku, Pierwotnie podstawowym celem badań było wykazanie zmian w procesach życiowych zwierząt i człowieka, natomiast późniejszy etap dotyczył reakcji roślin na pole magnetyczne. Gwałtowny wzrost zainteresowania wpły-

wem i wykorzystaniem pola magnetycznego do biostymulacji roślin rozwinął się w drugiej połowie XX wieku. Problem pojawił się przy porównywaniu poszczególnych wyników badań, ponieważ używano różnej metodyki badawczej, jak również różnych wielkości do opisywania pola magnetycznego [2].

Przeprowadzane przez autora badania dowiodły, że oddziaływanie pól magnetycznych na nasiona i rośliny zależy od gęstości energii tych pól. Natomiast przedsięwzięta biostymulacja zależy także od czasu ekspozycji. Wielkość, która charakteryzuje wpływ pola magnetycznego na organizmy żywe, nazywa się dawką ekspozycyjną D [9].

$$D = \rho_m t_e, \quad (20)$$

gdzie:

ρ_m – gęstość energii pola magnetycznego [Jm^{-3}],

t_e – czas ekspozycji [s].

Średnią gęstość energii pola magnetycznego można przedstawić jako [10]:

$$\rho_m = \frac{1}{2} \mu_0 H_m^2 = \frac{1}{2\mu_0} B_m^2. \quad (21)$$

7.1. Metodyka badań i dobór materiału

Do doświadczeń użyto ziarniaków Inianki zakupionych w Zakładzie Doświadczalno-Dydaktycznym w Poznaniu. Była to Inianka ozima odmiany „Przybrodzka”.

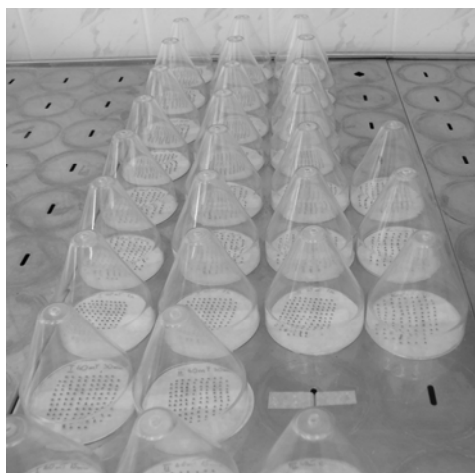
W doświadczeniu materiał badawczy umieszczono w stałym polu magnetycznym, wygenerowanym przez magnes nadprzewodnikowy. Pole magnetyczne miało wartość 1 i 2 Tesle, każdej wartości pola przyporządkowano trzy czasy ekspozycji: 60 [s], 300 [s] i 600 [s]. Dla każdego czasu wykonano trzy próby pomiarowe, każda z prób zawierała 100 ziarniaków. Dodatkowo dla porównania przygotowano trzy próby kontrolne, które nie były poddawane działaniu pola magnetycznego. W doświadczeniu łączna ilość użytych prób wyniosła 21

Ziarniaki poddano ocenie kiełkowania zgodnie z normą ISTA 1999 (International rule of seed testing 1999 Seed Science and Technology).

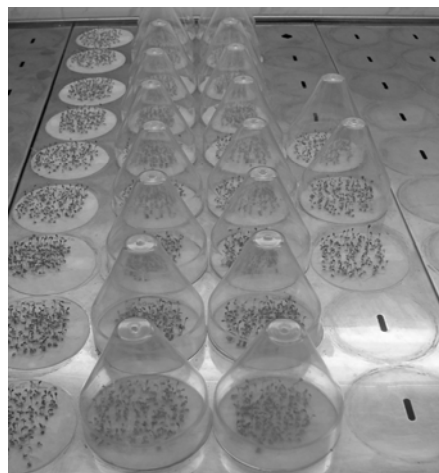
Ziarniaki Inianki wysiano na kiełkowniku Jacobsona na wilgotnej bibułce (rys. 11). Podczas rejestrowania danych do obliczenia wskaźnika szybkości kiełkowania wg Maguire'a oraz wskaźnika średniego czasu kiełkowania wg

Piepera usuwano ziarniaki z podłoża po osiągnięciu długości kielka równej 2 [mm]. Pierwsze kielki pojawiły się w trzecim dniu kiełkowania i obserwacje powtarzano co 24 godziny. Wszystkie badania były przeprowadzone w Laboratorium katedry Hodowli Roślin i Nasiennictwa Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, pod kierownictwem Pani Profesor Marii Moś.

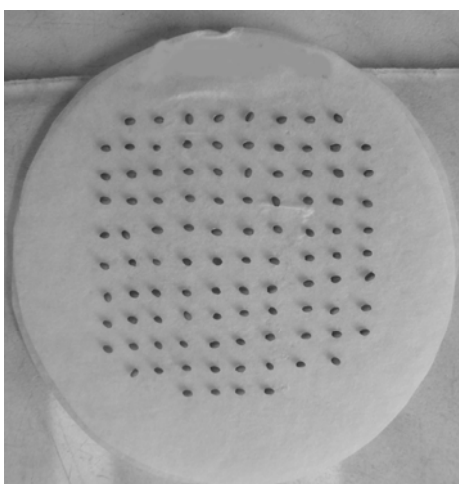
a)



b)



c)



Rys. 11. Zdjęcia przedstawiające:

a) próby *Inianki* na kiełkowniku Jacobsiona przed kiełkowaniem, b) po wykiełkowaniu, c) ziarniaki *Inianki* przygotowane do kiełkowania

TABELA 2

Zestawienie dawek ekspozycyjnych zastosowanych doświadczeniu

	Wartość pola [T]	Czas [s]	Dawka ekspozycyjna [Jm ⁻³ s]
STALE POLE MAGNETYCZNE	1	60	4,77·10 ⁷
		300	2,39·10 ⁷
		600	4,77·10 ⁸
	2	60	1,91·10 ⁸
		300	9,55·10 ⁸
		600	1,91·10 ⁹

Wskaźnik szybkości kiełkowania wg Maguire'a (WSK) obliczany jako suma ilorazów normalnie skiełkowanych nasion podzielonych przez kolejny dzień kiełkowania, przedstawia poniższy wzór:

$$WSK = \frac{m_1}{d_1} + \frac{m_2}{d_2} + \dots + \frac{m_n}{d_n}, \quad (22)$$

gdzie:

m – jest to liczba normalnie skiełkowanych ziarniaków;

d – jest to liczba dni od wysiewu do usunięcia ziarniaków z podłoża.

Wskaźnik średniego czasu kiełkowania wg Piepera (WSCK) obliczany jako iloraz sumy iloczynów liczb normalnie skiełkowanych ziarniaków danego dnia i liczb dni od wysiewu do usunięcia ziarniaków z podłoża, do sumy tych dni, przedstawia poniższy wzór:

$$WSCK = \frac{(m_1 d_1 + m_2 d_2 + \dots + m_n d_n)}{(m_1 + m_2 + \dots + m_n)}, \quad (23)$$

gdzie:

m – jest to liczba normalnie skiełkowanych ziarniaków;

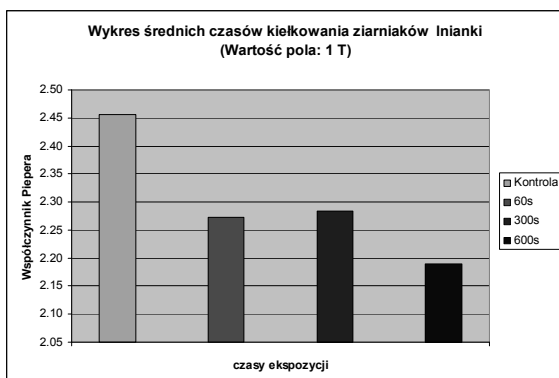
d – jest to liczba dni od wysiewu do usunięcia ziarniaków z podłoża.

7.2. Wyniki badań eksperymentalnych

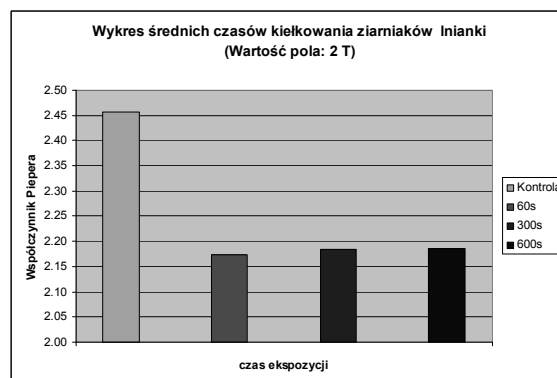
Na podstawie danych, dla każdej wielkości dawki ekspozycyjnej zostały obliczone współczynniki szybkości kiełkowania wg Maguire'a (WSK)

oraz wskaźniki średniego czasu kiełkowania wg Piepera (WSCK). Dla zobrazowania obliczonych wskaźników wykonano wykresy słupkowe, zawierające dany wskaźnik dla wartości indukcji pola w funkcji czasu ekspozycji.

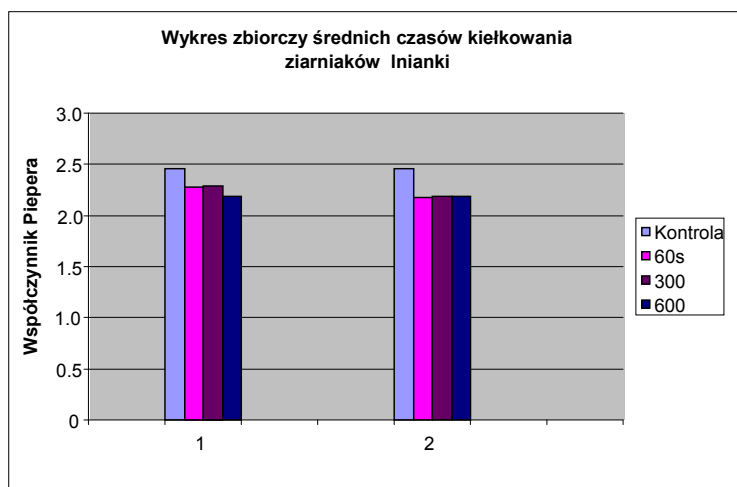
a)



b)



c)

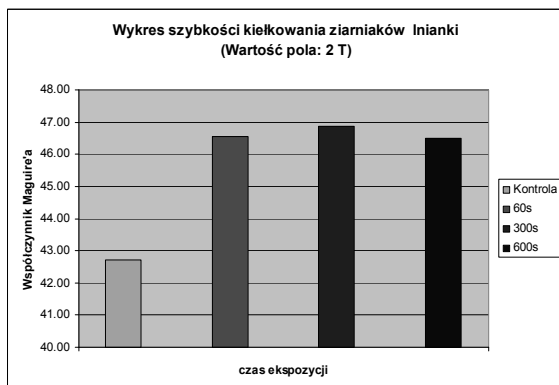


Rys. 12. Wykresy średnich czasów kiełkowania ziarniaków Inianki (WSCK) w zależności od wartości pola magnetycznego i czasów ekspozycji: a) wartość pola magnetycznego 1 [T], b) wartość pola magnetycznego 2 [T], c) wykres zbiorczy średnich czasów kiełkowania ziarniaków Inianki

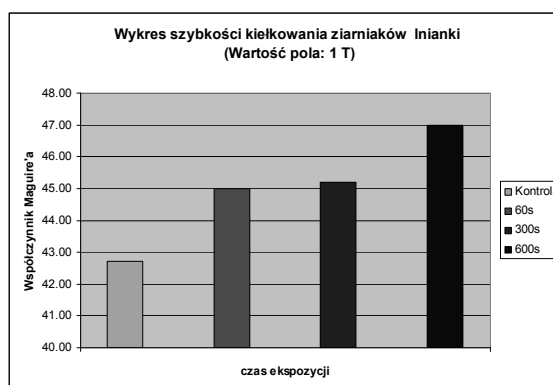
Z powyższych wykresów wynika iż współczynnik średniego czasu kiełkowania ziarniaków Inianki (WSCK) osiągnął najniższą wartość dla pola magnetycznego o wartości 2 [T] i czasu ekspozycji 60 [s] (WSCK = 2,17), natomiast najwyższą wartość współczynnika (WSCK) otrzymano dla pola magnetycznego o wartości 1 [T] i czasu ekspozycji 300 [s] (WSCK = 2,27). Dla pola

o wartości 2 [T] uzyskano nieznacznie lepsze wyniki niż dla pola o wartości 1 [T]. Wyniki współczynnika (WSK) dla wszystkich prób badawczych z ziarniakami Inianki były lepsze niż dla próby kontrolnej.

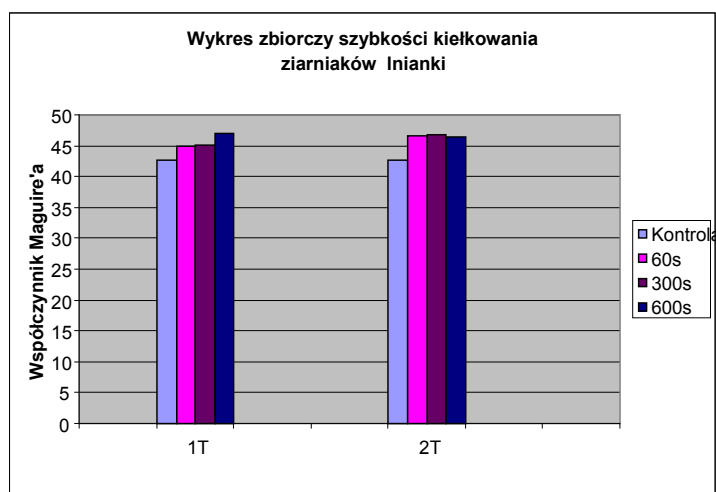
a)



b)



c)



Rys. 13. Wykresy szybkości kiełkowania ziarniaków Inianki (WSK) w zależności od wartości pola magnetycznego i czasów ekspozycji: a) wartość pola magnetycznego 1 [T], b) wartość pola magnetycznego 2 [T], c) wykres zbiorczy szybkości kiełkowania ziarniaków Inianki

Z powyższych wykresów wynika, iż współczynnik szybkości kiełkowania ziarniaków Inianki (WSK) osiągnął najwyższą wartość dla pola magnetycznego o wartości 1 [T] i czasu ekspozycji 600 [s] (WSK = 47,00), natomiast najniższą wartość współczynnika (WSK) otrzymano dla pola magnetycznego o wartości

1 [T] i czasu ekspozycji 60 [s] (WSK = 45,00). Najlepsze wyniki uzyskano dla prób poddanych działaniu pola magnetycznego o wartości 2 [T]. Wyniki współczynnika (WSK) dla wszystkich prób badawczych z ziarniakami Inianki były lepsze niż dla próby kontrolnej.

9. PODSUMOWANIE

Na podstawie badań przeprowadzonych za pomocą mikroskopu skaningowego wywnioskowano, iż ziarniaka Inianki najlepiej jest przedstawiać do symulacji komputerowych, za pomocą wielowarstwowej paramagnetycznej bryły o kształcie sferoidy spłaszczonej.

Zastosowanie współrzędnych sferoidy spłaszczonej do modelowania ziarniaków Inianki w polu magnetycznym, wydaje się celowe gdyż współrzędne te najdokładniej odwzorowują jego kształt, a także upraszczają obliczenia. Analizując przeprowadzone obliczenia i modelowanie można zauważyć, że indukcja pola magnetycznego, a także energia pola magnetycznego, są największe w obszarach o największej przenikalności (w rozpatrywanym przypadku $\mu_1 = 1,3$). Obserwowane zmiany energii sugerują, że celowe jest stymulowanie ziarniaków polem magnetycznym. Zachodzą bowiem w warstwach ziarniaka przemiany istotnie wpływające na większą siłę i energię kiełkowania.

Na potrzeby przeprowadzonych badań ziarniaki Inianki stymulowano stałym polem magnetycznym. Wpływ pola magnetycznego oceniono na podstawie współczynników średniego czasu kiełkowania (WSCK) wg. Piepera oraz współczynników szybkości kiełkowania (WSK) wg. Maguire'a. Współczynniki te porównywano dla ziarniaków stymulowanych polem oraz próby kontrolnej czyli ziarniaków nie stymulowanych polem magnetycznym.

Wyniki biostymulacji stałym polem magnetycznym ziarniaków Inianki okazały się lepsze od oczekiwanych. Wartości współczynnika średniego czasu kiełkowania ziarniaków (WSCK) wg. Piepera dla wszystkich badanych prób okazały się lepsze od prób kontrolnych. Wynika stąd, że stałe pole magnetyczne wywiera pozytywny wpływ na zmniejszenie czasu kiełkowania ziarniaków Inianki. W przypadku współczynnika szybkości kiełkowania ziarniaków (WSK) wg. Maguire'a, otrzymane wyniki dla wszystkich badanych prób są także lepsze od prób kontrolnych. Z powyższych informacji wynika, że stałe pole magnetyczne przyczynia się do wzrostu szybkości kiełkowania ziarniaków Inianki.

Rezultaty uzyskane w trakcie badań świadczą o złożoności podjętej tematyki. Autor ma świadomość, że problem wpływu pola magnetycznego na kiełkowanie i wzrost roślin został w niniejszej pracy jedynie zarysowany.

LITERATURA

1. Krawczyk A., Wyszowska J.: „Pole elektromagnetyczne w biosferze” PTZE Warszawa 2005.
2. Cieśla A., Skowron M.: „The analysis of the static magnetic field in paramagnetic spheroids at the laminar structure on the example grain wheat” ISEF'2007 International Symposium on Electromagnetic Fields in mechatronics, electrical and electronic engineering: S. 70–71.
3. Sikora R., Zeńczak M.: „Elektryczne własności materii żywej a sposób oddziaływania na nią pól elektromagnetycznych nie jonizujących”, Bioelektromagnetyzm, Instytut Naukowo-Badawczy ZTUREK Warszawa, czerwiec 2002.
4. Cieśla A.: Practical aspects of high gradient magnetic separation using superconducting magnets, Physicochemical Problems of Mineral Processing 37 (2003), pp. 169 – 181.
5. Moon P., Spencer D.E.: Teoria pola. PWN Warszawa 1966.
6. Pietrzyk W.: Electric field influence on grain. Acta Agrophysica, Lublin 1996.
7. Baran J.: „Elektrostatyczne efekty strykcyjne w dielektrycznej sferoidzie o strukturze warstwowej” rozprawa doktorska, Politechnika Lubelska, Lublin 1990.
8. Włodek R., Prochownik A.: „Obliczanie pól elektrycznych w układach elektroizolacyjnych” Skrypty uczelniane, Wydawnictwo AGH, Kraków 1992.
9. Pietruszewski S.: „Magnetyczna biostymulacja materiału siewnego pszenicy jarej” Rozprawa habilitacyjna, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin 1999.
10. Pietruszewski S., Kornarzyński K.: „Wpływ pól magnetycznych na proces kiełkowania nasion” Inżynieria Rolnicza nr 2/1999 str. 13.

Rękopis dostarczono, dnia: 27.10.2009 r.

Opiniował: dr hab. inż. Stefan F. Filipowicz – prof. PW

BIOSTYMULATION GRAIN LNIANKI
STATIC STRONG MAGNETIC FIELD

M. SKOWRON

ABSTRACT *The science about relation between the matter lively and the electromagnetic field institute evolving discipline of knowledge dynamically. The turbulent growth of the number sources electromagnetic field influencing on the environment contributes to this development. The growth of the investigative potential follows at a time: experimental, biochemical and biophysical and simulating techniques. This publication presents research pre sowing biostimulation on grain lnianki, strong state magnetic field. Presents also model grains in the magnetic field and results of laboratory probes relating to the sowing stimulated grains on germination apparatus Jacobson on wet paper.*

IEI, Warszawa 2009. Nakład 115 + 10. egz. Ark. wyd. 14,46. Ark. druk. 10,68. Pap. off. Kl.III. 80 g.

Oddano do druku w grudniu 2009 r. Druk ukończono w grudniu 2009 r.

Redakcja – Wydawnictwo Instytutu Elektrotechniki

Indeks nr 37656
