

## Wpływ mikrofal 2,45 GHz na wzrost rzeżuchy siewnej (*Lepidium sativum* L.)

**Abstract.** The use of physical methods in agriculture, in relation to plant material, may be a complement to agrotechnics requiring the use of chemical treatments. The study investigated the influence of microwave radiation at the frequency 2.45 GHz on the germination and growth of cress (*Lepidium sativum* L.). A significant influence of microwaves on the length of a cress seedling was demonstrated. **The influence of microwave radiation at the frequency 2.45 GHz on the germination**

**Streszczenie.** Stosowanie metod fizycznych w rolnictwie, w odniesieniu do materiału roślinnego, może być uzupełnieniem agrotechniki wymagającej stosowania zabiegów chemicznych. W pracy badano wpływ promieniowania mikrofalowego o częstotliwości 2,45 GHz na kiełkowanie i wzrost rzeżuchy siewnej (*Lepidium sativum* L.). Wykazano istotny wpływ mikrofal na długość siewki rzeżuchy.

**Keywords:** microwaves, exposition, seeds, growth.

**Słowa kluczowe:** mikrofałe, ekspozycja, nasiona, wzrost.

### Wprowadzenie

Stosowanie metod fizycznych w rolnictwie, w odniesieniu do materiału roślinnego, może być uzupełnieniem agrotechniki wymagającej stosowania zabiegów chemicznych [1, 2, 3]. Doświadczenia badające wpływ promieniowania mikrofalowego na rośliny dawały wyniki zarówno pozytywne (stymulujący wpływ mikrofal) jak i negatywne (hamowanie wzrostu i rozwoju) [4].

Badania [5], w którym nasiona rzodkwi, pomidora i marchwi (*Raphanus sativus* L., *Lycopersicon esculentum* Mill., *Daucus sativus* Rohl) napromieniano HPM (high power microwave) w zakresach częstotliwości 2,6-9,3 GHz przez 5-20 min., wykazały, że nasiona rzodkiewki i marchwi, ekspozowane na mikrofałe 9,3 GHz przez czas 5 m. in., kiełkowały silniej (o 6%) w odniesieniu do próby kontrolnej lecz odnotowano negatywny wpływ HPM 9,3 GHz na wysokość sadzonek marchwi. W pracy [6] badano wpływ mikrofal o częstotliwości 8,5-10,27 GHz i czasie ekspozycji 12-28 min. na nasiona pszenicy (*Triticum aestivum*), ciecierzycy (*Cicer arietinum*) i fasoli (*Vigna radiata*) stwierdzając, stymulujący wpływ mikrofal na kiełkowanie i żywotność sadzonek roślin. Zauważono jednak, że wraz ze wzrostem częstotliwości mikrofal malał ich wpływ stymulujący na roślinę. W pracy [7] określano wpływ mikrofal o częstotliwości 2,45 GHz na nasiona fasoli (*Phaseolus vulgaris*) przez 15-120 s. stwierdzając zmniejszenie populacji grzyba *Penicillium* spp., na powierzchni nasion i tkance wewnętrznej, zwiększenie zdolność kiełkowania oraz mniejszy odsetki siewek morfologicznie nieprawidłowych. Podobne doświadczenie, z wykorzystaniem tej samej rośliny, wykonał [8] oceniając wpływ stymulacji mikrofalowej (2,45 GHz, 10-60 s) nasion na proces ich kiełkowania. W doświadczeniu tym wykazano pozytywny wpływ 10 s napromieniania nasion fasoli na parametry określające wartość siewną materiału (zdolność kiełkowania, wskaźnik Maguiera, wskaźnik Piepera). Stwierdzono również istotne różnice w przyroście świeżej masy między kombinacjami napromienionymi mikrofalami a próbą kontrolną.

Badano również [9] wpływ promieniowania mikrofalowego (2,45 GHz) na kinetykę kiełkowania łubinu grochu. Wykazano że 5 sekundowa ekspozycja promieniowania mikrofalowego przyspiesza kiełkowanie w stosunku do kontroli, zaś 10 sekundowa powoduje opóźnione kiełkowanie. Rzeżucha, w aspekcie reakcji na metody fizyczne, badana była przez [10, 11, 12, 13]. W doświadczeniach tych badano m. in. wpływu pól i promieniowania elektromagnetycznego na proces

kiełkowania nasion i wzrost rzeżuchy nacierpkowej (*Cordamine ipatiens*) oraz zawartość witaminy C w pędach nadziemnych roślin wykazując istotny wpływ stosowanych czynników na vigor roślin [10]. Badano wpływ światła o różnej długości fal ( $\lambda=650$  nm,  $\lambda=570$  nm,  $\lambda=550$  nm,  $\lambda=490$  nm) na rozwój roślin i wybrane parametry rzeżuchy (*Lepidium sativum*). Wykazano, w zależności od barwy światła, różnice w zawartości chlorofilu A i B, polifenoli oraz FRAP [11, 12]. Stosując długotrwałe napromieniania mikrofalami (2.412 to 2.472 GHz emitowane z routera Wi-Fi, Huawei B260) nasion rzeżuchy stwierdzono zahamowanie wzrostu roślin [13].

Mikrofałe są częścią widma fal elektromagnetycznych, zajmującym położenie między radiowymi falami ultrakrótkimi a promieniowaniem podczerwonym. Promieniowanie mikrofalowe podlega wszystkim zjawiskom fizycznym charakterystycznym dla ruchu falowego. Oddziałując z materią może ono ulec odbiciu, załamaniu, absorpcji, dyfrakcji, transmisji, interferencji czy polaryzacji. Promieniowanie mikrofalowe wykazuje również właściwości kwantowe – tym wyraźniejsze, im krótsza jest długość fali. Wraz ze wzrostem częstotliwości promieniowania wartość względnej przenikalności dielektrycznej maleje, a wzrasta przewodność właściwa. Wraz ze wzrostem tych wielkości występuje większa absorpcja w danym ośrodku i mniejsze przenikanie energii promieniowania mikrofalowego. Wielkością opisującą zjawisko pochłaniania fali elektromagnetycznej w ośrodku jest głębokość wnikania ( $\xi$ ) (wzór 1) zdefiniowana jako droga, po przebyciu której natężenie fali maleje  $e$ -krotnie (2,72 razy). Głębokość wnikania mikrofal w tkankę jest odwrotnie proporcjonalna do ilości zawartej w niej wody.

$$(1) \quad \xi = \sqrt{\frac{2}{f \sigma_t \epsilon_t}}$$

gdzie:  $f$  - częstotliwość promieniowania elektromagnetycznego (Hz),  $\sigma_t$  - przewodność właściwa napromienianej tkanki ( $S \cdot m^{-1}$ ),  $\epsilon_t$  - stała dielektryczna napromienianej tkanki.

Działanie promieniowania mikrofalowego na obiekt biologiczny jest skutkiem pochłaniania przez niego energii. W trakcie ekspozycji organizmu na tego typu promieniowanie, część energii docierającej do obiektu zostaje pochłonięta i zamieniona na ciepło (Chen i in. 1993). Ilość pochłanianej energii oraz jej rozkład

przestrzenny w obiekcie biologicznym zależne są od częstotliwości promieniowania oraz parametrów elektrycznych napromienianych tkanek: głównie przewodności elektrycznej i stałej dielektrycznej. Oba te parametry wykazują właściwości dyspersyjne i uzależnione są od stopnia uwodnienia tkanek. Efekty biologiczne towarzyszące pochłanianiu promieniowania mikrofalowego zależą zarówno od ilości pochłoniętej energii, jak i od szybkości jej pochłaniania. Energia pochłaniana przez obiekt biologiczny, zdaniem [14, 15, 16], określana powinna być poprzez formuły uwzględniające między innymi: natężenie pola elektrycznego, przewodność i przenikalność elektryczną obiektu, gęstość napromienianej tkanki, częstotliwość fali elektromagnetycznej i współczynnik strat dielektrycznych.

W doświadczeniach [17] związanych z napromienianiem roślin ziemniaka (*Solanum tuberosum* L.) mikrofalami, aby określić energię jaką pochłania bulwa, posługiwano się: parametrami będącymi kompilacją mocy urządzenia generującego mikrofałę, czasem ekspozycji oraz masą ogrzewanego materiału. Efektem były dwa parametry wyrażające wartości teoretyczne: dawka całkowita promieniowania mikrofalowego (będąca iloczynem mocy urządzenia generującego mikrofałę i czasu ekspozycji) oraz dawka jednostkowa promieniowania mikrofalowego (będąca ilorazem dawki całkowitej promieniowania mikrofalowego i masy bulwy ziemniaka). W odniesieniu do procesów mikrofalowych stosowanych w przemyśle rolnospożywczym wielu badaczy [18, 19, 20] posługuje się formułami uwzględniającymi pole elektryczne, pomijając pole magnetyczne. Według wymienionych wyżej autorów, szacując energię absorbowaną przez obiekt biologiczny w trakcie jego napromieniania mikrofalami, przyjąć można, że dostarczenie do pustej ( $V_k$ ) komory (mikrofalowej wnęki rezonansowej) mikrofal o mocy  $P_0$  (i częstotliwości  $f$ ) spowoduje wytworzenie się we wnęce pola elektrycznego o natężeniu  $E_0$  (wzór 2).

$$(2) \quad E_0 = \sqrt{\frac{P_0}{2\pi f \varepsilon_0 V_k}} \quad (\text{V} \cdot \text{m}^{-1})$$

Jednocześnie, po umieszczeniu w komorze dielektryka (np. nasiona), wytworzy się w nim pole kompensacyjne o znaku przeciwnym do pola  $E_0$ . Napromienianie obiektu biologicznego znajdującego się we wnęce mikrofalowej w początkowej fazie procesu związane będzie z doprowadzeniem do tej wnęki mocy  $P_{B0}$  (wzór 3), a wtedy w obiekcie wytworzy się pole elektryczne o natężeniu  $E_B$  zależne od wartości współczynnika strat dielektrycznych  $\varepsilon''_B$  stymulowanego materiału (wzór 4).

$$(3) \quad P_{B0} = \frac{m_B \cdot c_{wB} \cdot \Delta T}{t} \quad (\text{W})$$

$$(4) \quad E_B = \frac{E_0}{\varepsilon''_B} \quad (\text{V} \cdot \text{m}^{-1})$$

Pole elektryczne w obiekcie spowoduje indukowanie się w nim mocy, której wartość opisać można poprzez zależności (5 i 6).

$$(5) \quad P_B = 2\pi f \varepsilon_0 E_B^2 V_B \varepsilon''_B \quad (\text{W})$$

$$(6) \quad P_B = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \varepsilon_0 \cdot (E_B)^2 \cdot \left(\frac{m_B}{\rho_B}\right) \cdot \varepsilon''_B \quad (\text{W})$$

gdzie:  $\varepsilon_0$  - przenikalność próżni  $8,85 \cdot 10^{-12}$  ( $\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$ )

Celem pracy było zbadanie wpływu mikrofal o częstotliwości 2,45 GHz na procesy kiełkowania i wzrostu rzeżuchy siewnej na (*Lepidium sativum* L.) w warunkach laboratoryjnych. Na dalszym etapie prac planuje się poddanie rośliny wpływowi impulsowego pola elektrycznego oraz pola magnetycznego o niskich częstotliwościach [21,22].

### Metodyka

Badania realizowano w roku 2017 w warunkach laboratoryjnych. Obiektem badań były nasiona rzeżuchy siewnej na (*Lepidium sativum*). Nasiona, usytuowane na szalce Petriego, napromieniano mikrofalami przez czas 5, 10 lub 15 s. Do napromieniania nasion wykorzystano generator wytwarzający mikrofałę o częstotliwości 2,45 GHz (100 W) z precyzyjnym wyłącznikiem czasowym. Zasadniczym elementem generatora był magnetron zbudowany z bloku anodowego z wnękami próżniowymi, których liczba i kształt implikowała żadaną charakterystykę lampy mikrofalowej. Anoda umieszczona była między biegunami silnego magnesu co powodowało, że tory elektronów wylatujących z rozżarzonej katody ulegały zakrzywieniu. Drgania elektryczne wzbudzone we wnękach zamieniały powstałą chmurę elektronów w elektromagnetyczną falę stojącą, a elektrony znajdujące się we wnękach oddawały swoją energię (w postaci mikrofal) na zewnątrz w polu elektrycznym wnęk. Mikrofałę transportowane były do wnętrza szczelnej komory (pełniącej funkcję siatki Faradaya), wyposażonej w obrotowe dno, poprzez falowód. Liczebność pojedynczej kombinacji doświadczenia wynosiła 90 nasion i obejmowała 3 replikacje. Po napromienianiu nasiona umieszczono w szalce Petriego pełniących rolę kiełkownika. W tak przygotowanym kiełkowniku ułożono nasiona, który następnie pozostawiono bez dostępu światła na okres 24 godzin w temperaturze 22°C. Następnie nasiona podkiełkowywano przy udziale światła dziennego w temperaturze 20-22°C. Wyznaczono kolejne parametry określające wartość siewną nasion rzeżuchy [23]:

- liczbę nasion aktywnie kiełkujących (zgodnie z PN-R-65950: 1994 oraz standardami ISTA),
- długość wyrosłej siewki (suwmiarka DIN 862 +/- 0,03 mm sprzężona z jednostką rejestrującą pomiar).

W oparciu o wzór (1) wyznaczono wskaźnik kiełkowania ( $W_k$ ) [10, 21] określający wartość siewną nasion rzeżuchy oraz graficznie zobrazowano, w oparciu o wzór (2), przebieg tego procesu.

$$(7) \quad W_k = \frac{N_t}{N_0}$$

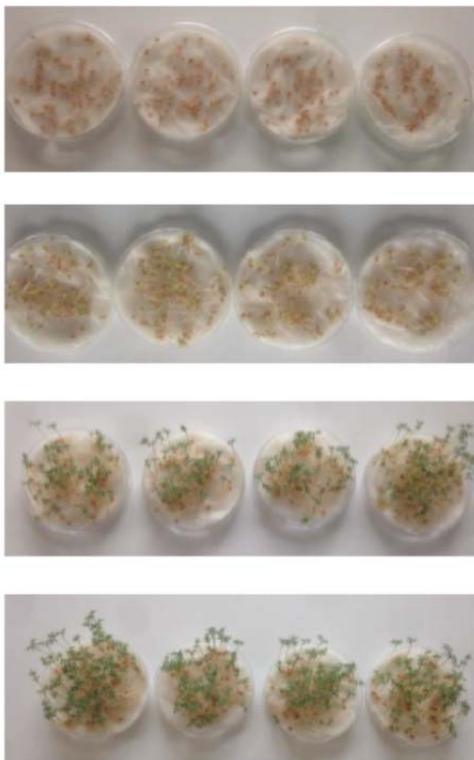
gdzie:  $N_t$  – liczba wykiełkowanych nasion w czasie  $t$ ,  $N_0$  – liczba wykiełkowanych nasion w próbie kontrolnej w czasie  $t$ .

$$(8) \quad N_t = \frac{N_k}{1 + (N_k - 1) \exp(-\alpha N_k (t - t_0))}$$

gdzie:  $N_k$  – końcowa liczba wykiełkowanych nasion (%),  $N_t$  – liczba wykiełkowanych nasion po danym czasie  $t$  (%),  $\alpha$  – współczynnik szybkości kiełkowania,  $t_0$  – czas pierwszego wykiełkowanego nasiona (h).

W analizie statystycznej wartości wyrażone w procentach transformowano wg zależności Bliss'a  $\text{arc sin}$

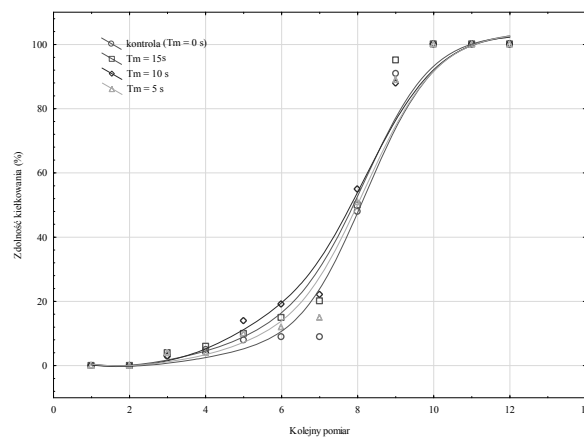
$\sqrt{x}$ . Po wykonanej analizie wartości retransformowano. Wyniki badań dotyczące długość wyrosłej siewki analizowano wykorzystując program *STATISTICA 13.3* na założonym poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . W wyodrębnionych źródłach zmienności szacowano komponenty wariancji według modelu mieszanego, w którym czas napromieniania mikrofalami (wraz z próbą kontrolną) przyjęto jako czynniki stałe, a replikacje i powtórzenia doświadczenia stanowiły czynnik losowy. Normalność rozkładu w próbach określano testem Kolmogorowa-Smirnowa a jednorodność wariancji testem Levene'a. Istotność różnic badano wykorzystując analizę wariancji z testem *F-Snedecora*. A priori założono możliwy brak równoliczności w próbach w końcowej fazie doświadczenia. Jako test post-hoc wykorzystano procedurę *Sjotvolla* i *Stolinea* (uogólnienie testu *HSD Tukeya*).



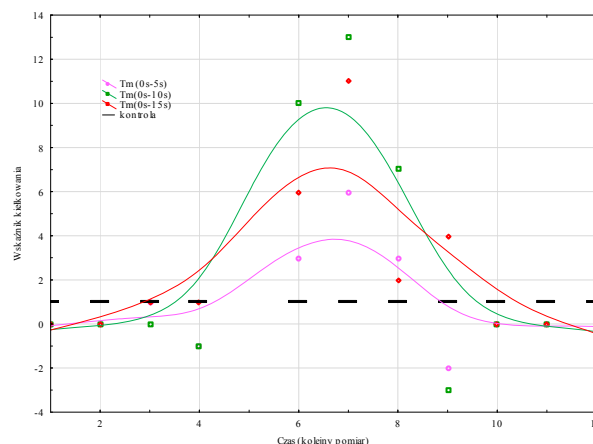
Rys. 1. Kiełkowniki z poszczególnymi kombinacjami (przykład dla jednej replikacji)

### Wyniki badań i dyskusja

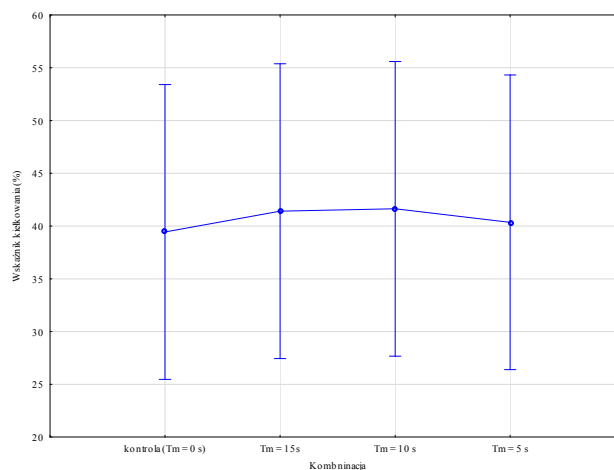
Analiza graficzna (rys. 2) uzyskanych wyników wskazuje na modyfikujący wpływ promieniowania mikrofalowego na zdolność kiełkowania nasion rzeżuchy. Uwidocznione krzywe kiełkowania nasion napromieniowanych nie pokrywają się z krzywą opisującą zdolność kiełkowania nasion próby kontrolnej. Z rysunku 5 wnioskować również można, że 10 s czas ekspozycji, w odniesieniu do pozostałych kombinacji doświadczenia, wpływał pozytywnie na zdolność kiełkowania nasion. Podobny efekt stwierdzić można w przypadku wartości wskaźnika kiełkowania (rys. 3). Jednowymiarowa analiza wariancji nie wykazała jednak statystycznie istotnego ( $F=2,31$ ,  $p=0,673$ ) wpływu promieniowania mikrofalowego na zdolność kiełkowania nasion rzeżuchy. Ze względu na nieistotną wartość testu *F-Snedecora* nie wykonywano porównań wielokrotnych w celu formowania grup homogenicznych zmiennych. Wykonano graficzną prezentację (rys. 4) wartości wskaźnika kiełkowania w poszczególnych kombinacjach (wraz z rozrzutem wartości wewnątrz kombinacji).



Rys. 2. Krzywe logistyczne obrazujące zdolności kiełkowania nasion rzeżuchy w poszczególnych kombinacjach.



Rys. 3. Wartość wskaźnika kiełkowania nasion rzeżuchy w poszczególnych kombinacjach w odniesieniu do próby kontrolnej.



Rys. 4. Wartość wskaźnika kiełkowania nasion rzeżuchy w poszczególnych kombinacjach doświadczenia.

Analiza rysunku 4 również wskazuje, że najwyższą wartość wskaźnika kiełkowania uzyskano dla kombinacji napromienianej przez czas 10 s. Wykazano, w porównaniu z kombinacją kontrolną, istotny wpływ 10 i 15 s ekspozycji nasion na promieniowania mikrofalowego w odniesieniu do długości siewki ( $F= 5,89$ ,  $p=0,023$ ). Wykonane porównania wielokrotne pozwoliły na wyodrębnienie 2 grup homogenicznych (tab. 1). Uzyskany wynik nie jest jednoznaczny ponieważ wystąpiło tzw. „zachodzenie grup” - jednakże zjawisko to nie wystąpiło w odniesieniu do próby kontrolnej. We wszystkich kombinacjach doświadczenia

stwierdzono większą długość siewki w odniesieniu do kombinacji kontrolnej. Wykazany brak statystycznie istotnego wpływu mikrofal na zdolność, wskaźnik kiełkowania oraz brak jednoznacznego zidentyfikowania grup homogenicznych zmiennych nie powinien być przesłanką do zarzucenia badań w tym kierunku.

Tabela 1. Wpływ czasu napromieniania mikrofalami na długość siewki rzeżuchy – układ grup homogenicznych

Czas napromieniania mikrofalami	Długość siewki (mm)	Grupy homogeniczne	
kontrola (0 s)	59,4	***	
5 s	59,6	***	
10 s	60,9	***	***
15 s	60,7	***	***

## Wnioski

- 1) Napromienianie nasion rzeżuchy (*Lepidium sativum* L.) mikrofalami o częstotliwości 2,45 GHz przez czas 5-15 s miało modyfikujący wpływ na zdolność i wskaźnik kiełkowania.
- 2) Najwyższe wartości dla zdolności kiełkowania i wskaźnika kiełkowania uzyskano, w odniesieniu do kontroli, dla kombinacji nasion napromienianych przez 10 s.
- 3) Na założonym poziomie istotności nie stwierdzono statystycznie istotnego wpływu mikrofal na zdolność kiełkowania i wskaźnika kiełkowania badanych nasion.
- 4) Wykazano istotny wpływ mikrofal na długość siewki rzeżuchy.

**Autor:** Dr. hab. inż. Tomasz Jakubowski, Balicka 116b, 30-149 Kraków, [tomasz.jakubowski@ur.krakow.pl](mailto:tomasz.jakubowski@ur.krakow.pl).

## LITERATURA

- [1] Pietruszewski S., Martinez E., Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material, *International Agrophysics*, 29 (2002), 377-389
- [2] Aleman E.I., Moreira R.O., Lima A.A., Silva S.Ch., Gonzalez Olmedo J.L., Chalfun-Junior A., Effect of 60 Hz sinusoidal magnetic field on in vitro establishment multiplication and acclimatization phases of coffee Arabica seedling. *Bioelectromagnetics*, 35 (2014), 414-425
- [3] Maffei M.E., Magnetic field effect on plant, growth, development, and evolution, *Front. Plant Sci.*, 5(2014), 445-462.
- [4] Mahajan T.S., Pandey O.P., Magnetic-time model at off-season germination, *International Agrophysics*, 28 (2014), 57-62.
- [5] Radzevičius A., Sakalauskienė S., Dagys M., Simniškis R., Karklelienė R., Bobinas Č., Duchovskis P., The effect of strong microwave electric field radiation on: (1) vegetable seed germination and seedling growth rate, *Zemdirbyste-Agriculture*, 100, No. 2 (2013), 179-184.
- [6] Ragha L., Seema Mishra S., Ramachandran V., Bhatia M. S., Effects of low-power microwave fields on seed germination and growth rate, *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 3 (2011), 165-171.
- [7] Tylkowska K., Turek M., Blanco P. R., Health, germination and vigour of common bean seeds in relation to microwave irradiation. *Phytopathologia*, 55 (2010), 5-12.
- [8] Jakubowski T., Evaluation of the impact of pre-sowing microwave stimulation of bean seeds on the germination process. *Agricultural Engineering*, 154, No. 2 (2015), 45-56.
- [9] Pietruszewski S., Kania K., Wpływ promieniowania mikrofalowego na kinetykę kiełkowania nasion łubinu białego i grochu konsumpcyjnego. *Acta Agrophysica*, 18, nr 1, (2011), 121-129.
- [10] Pieńkowska H., Grabowski S., Wpływ słabych pól i promieniowania elektromagnetycznego na kiełkowanie i wzrost rzeżuchy. *Acta Agrophysica*, 6, nr 1 (2005), 205-212.
- [11] Kusior M., Krośniak M., Chłopicka J., Zagrodzki P., Wpływ światła o różnej długości fal na rozwój roślin i wybrane parametry biochemiczne na przykładzie rzeżuchy (*Lepidium sativum*) i gorczycy (*Sinapis alba*). *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, XLV, nr 3 (2012), 717-721.
- [12] Drzewicka M., Zatoń A., Sobczyk K., Grajeta H., Czy skiełkowane nasiona można zaklasyfikować do żywności funkcjonalnej? *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 97, nr 4 (2016), 318-327.
- [13] Liptai P., Dolník B., Gumanová V., Effect of wi-fi radiation on seed germination and plant growth. *International Journal of Engineering*, XV, nr 1 (2017), 109-112.
- [14] Szarycz M., Matematyczne modelowanie mikrofalowo-konwekcyjnego suszenia surowców rolniczych na przykładzie jabłek. *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu*, 420, nr. CLXXXIII (2001), 14-15.
- [15] Pietrzyk W., Standaryzacji badań wpływu pól elektromagnetycznych na materiały pochodzenia biologicznego. *Acta Agrophysica*, 8, nr 4 (2006), 915-921.
- [16] Kubacki R., Sobiech J., Krawczyk A. Validation of calculation method of the microwave energy absorbed by organisms. *Przegląd Elektrotechniczny*, 7-8, (2007), 119-120.
- [17] Marks N., Sobol Z., Baran D. Ocena mikrofalowej stymulacji bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza*, 11, nr 53 (2003), 151-157.
- [18] Marshall M., Metaxas A., Radio frequency assisted heat pump drying of crushed brick. *Applied Thermal Engineering*, 19, No. 4 (1999), 375-388.
- [19] Metaxas A., Meredith R., Industrial microwave heating. *Peter Peregrinus, London*. (1983).
- [20] Jakubowski T., Energy absorbed by a microwave irradiated potato tuber. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria*, 10, nr 1-2 (2011), 3-13.
- [21] Krawczyk, A., Korzeniewska, E., Łada-Tondyry, E. "Magnetophosphenes – History and contemporary implications" 2018 Przegląd Elektrotechniczny 94(1), pp. 61-64 [14] E. Korzeniewska, I. Gałązka-Czarnecka, A. Czarnecki, A. Piekarska, [22] A. Krawczyk, "Influence of PEF on antocyanins in wine" 2018 Przegląd Elektrotechniczny 94(1), pp. 57-60
- [23] Gładyszewska B., Matematyczne metody oceny wpływu procesów przedsewnej stymulacji na kiełkowanie nasion. *Acta Agrophysica*, 3, nr 3 (2004), 443-452.