

Wpływ cienkich warstw srebrnych naniesionych metodą fizycznego osadzania próżniowego na energię i zdolność kiełkowania nasion roślin z rodziny *Fabaceae*

Streszczenie: W artykule zaprezentowano wyniki doświadczeń dotyczących wpływu modyfikacji podłoża na energię i zdolność kiełkowania nasion lucerny i koniczyny czerwonej. Do badań wykorzystano podłoża naturalne wykonane z włókien bambusowych, bez i po modyfikacji. Zaproponowano zastosowanie tkanin pokrytych cienką warstwą srebrną otrzymaną w procesie fizycznego osadzania próżniowego, jako procesu zapewniającego dobrą adhezję cząstek metalu do włókien. W efekcie uzyskano zwiększenie zdolności kiełkowania nasion o około 20%.

Abstract. The article presents the results of experiments on the impact of substrate modification on energy and germination ability of lucerne and red clover seeds. Natural substrates made of bamboo fibers were used for the tests, without and after modification. It has been proposed to use fabrics covered with a thin silver layer obtained in the process of physical vacuum deposition as a process ensuring good adhesion of metal particles to fibers. As the result of research, the germination ability of seeds increased by about 20%. (*Influence of thin silver layers applied in physical vacuum deposition on energy and sprouting ability of plant seeds from the Fabaceae family*).

Keywords: sprouting energy, PVD, thin films, physical vacuum deposition, silver particles.

Słowa kluczowe: energia kiełkowania, PVD, cienkie warstwy, fizyczne osadzanie próżniowe, cząsteczki srebra.

Wstęp

Proces fizycznego osadzania próżniowego jest przyjaznym dla środowiska procesem technologicznym wykorzystywanym w celu nanoszenia cienkich warstw na różnorodne podłoża. W szczególności ma zastosowanie tam gdzie konieczna jest precyzja wykonania warstw i ich duża adhezja do podłoża. Proces ten zapewnia wytworzenie jednorodnych warstw o wysokiej jakości z możliwością kontrolowania morfologii naniesionych struktur [1-3]. Technologia ta ma wiele zastosowań funkcjonalnych, takich jak powlekanie narzędzi, elementów dekoracyjnych, ulepszenia optyczne, formy, matryce i ostrza. To tylko kilka przykładów szerokiej gamy już ugruntowanych zastosowań [4,5]. Autorzy pracy proponują wykorzystanie metody fizycznego osadzania próżniowego do modyfikacji podłoża, na którym przeprowadzono kiełkowanie nasion. W przeprowadzonym procesie wykorzystano srebro jako metal o właściwościach antybakteryjnych [6]. Takie cechy tego metalu były znane od czasów starożytnych, gdy był powszechnie stosowany do wytwarzania naczyń lub pojemników na ciecze czy też elementy stosowane w ówczesnej medycynie w celu zapobiegania infekcjom oparzeń, ran czy też przewlekłym stanom zapalnym wywołanym przez mikroorganizmy. Również współcześnie nanocząsteczki srebra wzbudzają zainteresowanie badaczy zajmujących się zdrowiem, ze względu na unikalne właściwości nanotechnologiczne srebra i szerokie spektrum właściwości przeciwdrobnoustrojowych. Metal ten jest stosowany w niektórych elementach odzieży, biomedycynie, sensorach, kosmetykach, oczyszczaniu wody a także w przemyśle spożywczym. Cząsteczki srebra uważa się jako skuteczne w walce z różnymi drobnoustrojami, w tym bakteriami Gram-dodatnimi (*Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium*), bakteriami Gram-ujemnymi (*Escherichiacoli*, *Salmonella typhimurium* czy też *Pseudomonas aeruginosa*) oraz grzybami (*Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Saccharomyces cerevisiae*). Istnieje wiele prac badawczych dotyczących mechanizmu oddziaływania jonów srebra na bakterie [7]. Według doniesień literaturowych, jony srebra penetrują w głąb komórek bakteryjnych zamieniając cząsteczki DNA w formę

skondensowaną, tym samym utrudniając zdolność do ich replikacji, co prowadzi do zaburzeń funkcji komórek [8,9] Ponadto udowodniono, że jony srebra reagują z białkami poprzez wiązanie się z grupą sulfhydrylową (-SH), co prowadzi do zmniejszenia lub utraty aktywności wielu enzymów, a następnie powoduje sterylizację [6].

W świetle opisanych właściwości cząsteczek srebra i możliwości jakie niesie z sobą technologia fizycznego osadzania próżniowego, autorzy pracy uznali za celowe przeprowadzenie badań wpływu modyfikacji podłoża stosowanego w procesie kiełkowania na energię i zdolność kiełkowania nasion roślin z rodziny *Fabaceae* [10].

Przedmiot i cel badań

Kiełkiem nazywa się zarodek, który przebił się przez okrywę nasienną i wykształcił system (korzeniowy i liścienie) do samodzielnego odżywiania. Rozporządzenie Komisji UE 208/2013 z dnia 11 marca 2013 r. definiuje kiełki jako produkt uzyskany w wyniku kiełkowania nasion i ich rozwoju w wodzie lub innym nośniku, zbierany przed wykształceniem się właściwych liści i przeznaczony do spożycia w całości, włącznie z nasionami [11]. Zgodnie z Rozporządzeniem Komisji UE uprawa roślin przeznaczonych na kiełki może przebiegać w zróżnicowanych warunkach. Uprawa nasion w celu uzyskania kiełków spożywczych (jadalnych) może być glebowa lub bezglebowa. Wśród upraw bezglebowych wykorzystuje się różnorodne podłoża o zróżnicowanych właściwościach. Mogą to być podłoża mineralne, syntetyczne a także organiczne. Skiełkowane nasiona to wyjątkowo odżywcze i smaczne produkty. Większość kiełków można spożywać bezpośrednio po umyciu. W celu uzyskania najwyższej jakości i trwałości kiełków niezbędne jest zoptymalizowanie procesu uprawy. Do wytworzenia młodych jadalnych siewek (kiełków) można między innymi wykorzystać nasiona roślin należących do rodziny *Fabaceae* (bobowate). Należące do tej rodziny lucerna (*Medicago sativa* ssp. *sativa* L) i koniczyna czerwona (*Trifolium pratense* L) są roślinami o bardzo dużym znaczeniu użytkowym dla człowieka. Są powszechnie uprawiane jako rośliny pastewne i z przeznaczeniem na mieszanki paszowe. Odznaczają się stosunkowo dużą masą otrzymaną z jednostki powierzchni oraz korzystnym ze względów odżywczych składem

chemicznym. Skielkowane nasiona koniczyny czerwonej wykazują silne właściwości antyoksydacyjne, głównie ze względu na dużą zawartość polifenoli. W badaniach wykazano, że zawierają także korzystny skład jakościowy i ilościowy związków fitoestrogenowych (izoflawonów, takich jak daidzeina, genisteina, formononetyna oraz biochanina A), które mają korzystne działanie na organizm człowieka. Skielkowane nasiona koniczyny czerwonej mogą być włączone do codziennej diety [12-14]. Kielkujące, młode siewki lucerny charakteryzują się ciekawymi walorami odżywczymi, zawierają wszystkie aminokwasy egzogenne, związki polifenolowe (30mg/100g). Są często wykorzystywane jako dodatek do potraw i zajmują ważne miejsce w diecie wegetariańskiej [15,16].

W trakcie kielkowania, wskutek intensywnego metabolizmu wzrasta zawartość witamin i mikroelementów, a usunięte zostają składniki antyżywniowe, np. inhibitory tripsyny, co sprawia, że kielki są bezpieczne w spożyciu dla człowieka.

Podczas kielkowania nasion aktywowane są w nich enzymy, m.in. amololityczne, proteolityczne oraz lipolityczne. Ich aktywność korzystnie zmienia skład skielkowanych nasion. Skrobia, białka i tłuszcze są rozkładane, stając się źródłem energii oraz substratami do syntezy nowych substancji [10]. Dane literaturowe wskazują na zależność pomiędzy zawartością związków przeciwutleniających w kielkach a warunkami ich wzrostu, tj. umiejscowieniem nasion, temperaturą i wilgotnością. Uprawę nasion można prowadzić stosując wiele metod kielkowania, zróżnicowanych sposobem nawilżania, temperaturą, dostępem do światła, ale także podłożem [16-25]. Żywotność nasion można wyrazić jako zdolność do kielkowania, które prowadzi do powstania rośliny zdolnej do reprodukcji. Odpowiednio duża żywotność wpływa na wigor nasion, który wyraża ich zdolność do wytwarzania zdrowych i dobrze rozwijających się siewek oraz roślin.

Celem prowadzonych badań była ocena możliwości zastosowania naturalnych włókien bambusowych pokrytych cienką warstwą srebra do uprawy bezglebowej nasion przeznaczonych na kielki.

Zakres badań obejmował:

- pokrycie tkanin bambusowych cienką warstwą srebra i zastosowanie ich do uprawy nasion wybranych roślin z rodziny *Fabaceae*

- wyznaczenie energii i zdolności kielkowania nasion uprawianych na tkaninach bambusowych i tkaninach bambusowych pokrytych cienką warstwą srebra w warunkach kontrolowanych i bezglebowych.

Proces PVD

Cienką warstwę metaliczną wytworzono w procesie fizycznego osadzania próżniowego (PVD) po wstępnym kondycjonowaniu materiału w temperaturze 22°C i wilgotności 55% przez okres 2 godzin. W komorze próżniowej Pfeiffer Vacuum Classic 250 służącej do przeprowadzania procesu PVD, tkaniny bambusowe umieszczono w odległości 6 cm od źródła oporowego, na którym rozgrzewano srebro celem wytworzenia par metalu. Proces trwał 5 minut po uzyskaniu próżni wstępnej $5 \cdot 10^{-5}$ mbar (0.005 Pa). Osadzane srebro miało czystość 99,99% gwarantowaną przez Mennica Metale S.A. Polska. Ze względu na porowatą strukturę podłoża bambusowego cząsteczki srebra osadzały się nie tylko na powierzchni materiału, lecz także w jego wnętrzu. Ze względu na trójwymiarową strukturę podłoża, w procesie nie otrzymano ciągłości warstwy metalicznej zapewniającej przewodnictwo elektryczne [26-28].

Materiał badany

Materiałem badawczym były nasiona lucerny (*Medicago sativa ssp. sativa L.*) i koniczyny czerwonej (*Trifolium pratense L.*), które uprawiano stosując zmodyfikowane warunki. Zastosowano uprawę bezglebową, w której jako

podłoża wykorzystano tkaniny bambusowe i tkaniny bambusowe pokryte cienką warstwą srebra. Do uprawy nasion wykorzystano zautomatyzowaną kielkownicę firmy Easy Green, z systemem filtracji powietrza. Kielkowanie nasion prowadzono do 9 dni w kontrolowanych warunkach temperatury, wynoszącej $20 \pm 1^\circ\text{C}$, wilgotności względnej powietrza (RH) na poziomie $96 \pm 2\%$ oraz przy dziennym dostępie do rozproszonego światła słonecznego. Temperaturę oraz wilgotność względną powietrza wewnątrz kielkownicy kontrolowano i monitorowano przy użyciu termohigrometrów pastylkowych iButton (typ DS 1923-F5), firmy Maxim Integrated. Kielki nawilżane były wodą wodociągową w postaci mgły, wytwarzanej i rozprowadzanej równomiernie wewnątrz kielkownicy przez zintegrowany z nimi generator, uruchamiany według zadanego programu co 4 h na 15 min. Kielkowanie nasion lucerny i koniczyny czerwonej prowadzono w trzech wariantach:

1. na specjalistycznych foremkach z tworzywa PP (Polipropylen)
2. na specjalistycznych foremkach z tworzywa PP, wyłożonych naturalnym włóknem bambusowym
3. na specjalistycznych foremkach z tworzywa PP, wyłożonych naturalnym włóknem bambusowym pokrytych cienką warstwą srebra.

Do każdego wariantu uprawy pobrano po 600 nasion (lucerny, koniczyny czerwonej) uprawianych w oddzielnych foremkach z tworzywa PP, dedykowanych do prowadzenia procesu kielkowania. W trakcie trwania badań określono odsetek zdrowych, prawidłowo kielkujących nasion. Podczas uprawy oznaczono wskaźniki żywotności nasion: energię i zdolność kielkowania nasion lucerny i czerwonej koniczyny.

Energię kielkowania (E_k) określono jako procent nasion, które wykiełkowały w ciągu 3 pierwszych dni (72 h).

$$E_k = \frac{l}{L} \cdot 100\% \Big|_{3 \text{ dni}}$$

gdzie: E_k – energia kielkowania, l – liczba wykiełkowanych nasion, L – liczba wyłożonych nasion (100 sztuk)

Zdolność kielkowania (Z_k) nasion wyrażono jako procent ziaren, które wytworzyły zdrowe kielki w ciągu 9 dni.

$$Z_k = \frac{l}{L} \cdot 100\% \Big|_{9 \text{ dni}}$$

gdzie: Z_k – zdolność kielkowania, l – liczba nasion zdolnych do kielkowania, L – liczba wyłożonych nasion (100 sztuk)

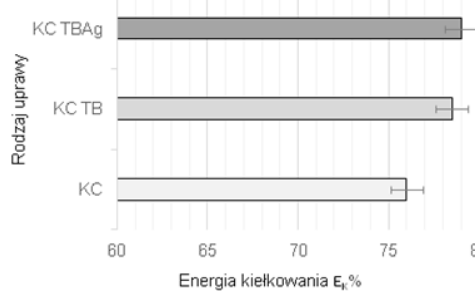
Podczas prowadzenia doświadczenia założono, że nasiona kielkujące to te, w których kielek ma długość co najmniej $\frac{3}{4}$ długości nasiona. Nasiona, które nie skielkowały oceniono pod względem ich jakości i zdrowotności, określono je mianem nasion niekielkujących. Prowadzono równolegle 6 upraw nasion w tych samych warunkach. W celu ustalenia istotności różnic między wynikami oceny jakości porównywanych prób wykonano test istotności różnic NIR, na poziomie istotności $p \leq 0.05$ korzystając z licencjonowanego programu STATISTICA 10.

Omówienie wyników i dyskusja

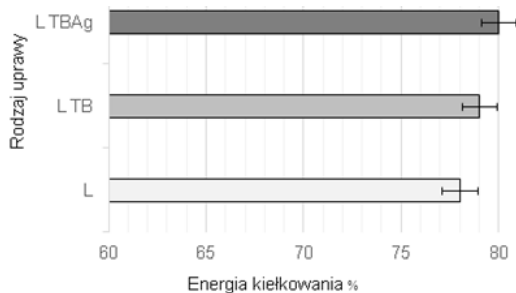
Zastosowanie systemu zautomatyzowanych urządzeń Easy Green oraz podłoża z tkanin bambusowych i podłoża bambusowych z cienką warstwą srebra umożliwiło stworzenie dogodnych warunków uprawy nasion roślin z rodziny *Fabaceae*. Badane nasiona lucerny i czerwonej koniczyny należą do nasion bardzo drobnych. Zaobserwowano, że uprawa nasion prowadzona na podłożach, zapewniła utrzymanie optymalnych warunków wilgotności, co jest niezwykle kluczowe dla uzyskania dużej wydajności i zdrowotności kielkujących nasion. Jednocześnie zaobserwowano, że wokół uprawianych nasion nie wytwarzała się błonka wodna utrudniająca

wymianę gazów. Nie obserwowano także, wahań wilgotności i wysychania podłoża. Takie obserwacje pozwalają stwierdzić, że zastosowane podłoże bambusowe może być rozpatrywane jako podłoże/podkład do uprawy nasion, w tym także tych drobnych. Określono energię kiełkowania nasion lucerny i koniczyny czerwonej jako procent skielkowanych nasion po 72 h uprawy. Jest to czas, przy którym kiełkuje większość nasion z rodziny *Fabaceae* (bobowatych). Stwierdzono, że energia kiełkowania E_K badanych nasion lucerny i koniczyny czerwonej wynosiła odpowiednio (rys.1, rys.2):

- od 78 (L) do 80 % w przypadku nasion lucerny.(L TB_{Ag})
- od 76 (KC) do 79 % w przypadku nasion koniczyny czerwonej (KC TB_{Ag})



Rys. 1. Energia kiełkowania E_K [%] nasion koniczyny czerwonej po 72 godzinach uprawy



Rys. 2. Energia kiełkowania E_K [%] nasion lucerny po 72 godzinach uprawy

W przypadku nasion koniczyny czerwonej jak i lucerny nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic w energii kiełkowania nasion w zależności od zastosowanego podłoża. Można zatem uznać, że modyfikacja podłoża na energię kiełkowania nasion drobnych, w tym lucerny i czerwonej koniczyny nie ma wpływu.

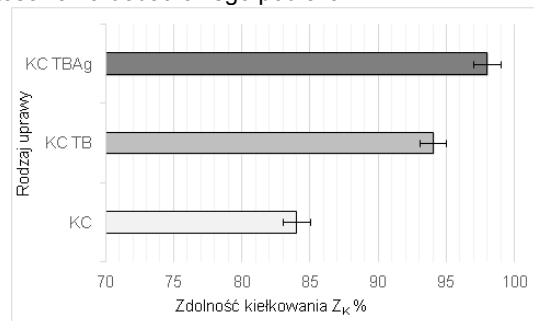
Uprawę nasion prowadzono w celu uzyskania kiełków spożywczych (jadalnych), których uprawa wynosi około 7-9 dni. A zatem zdolność kiełkowania nasion (lucerny i czerwonej koniczyny) oceniono w 9 dniu uprawy i wyrażono jako procent ziaren, które wytworzyły zdrowe kiełki. Stwierdzono, że 9 dniowe kiełki lucerny niezależnie od zastosowanych warunków uprawy (L, L TB, L TB_{Ag}) były prawidłowo ukształtowane, miały charakterystyczny zapach. Podobne obserwacje poczyniono w przypadku doświadczenia na nasionach czerwonej koniczyny, gdzie niezależnie od uprawy (KC, KC TB, KC TB_{Ag}) kiełki były prawidłowo wykształcone, jędrne, miały jasnozielone liście o zapachu ogórkowo-groszkowym.

Zdolność kiełkowania Z_K nasion lucerny i koniczyny została określona po 9 dniach uprawy w zmodyfikowanych warunkach i wynosi ona odpowiednio:

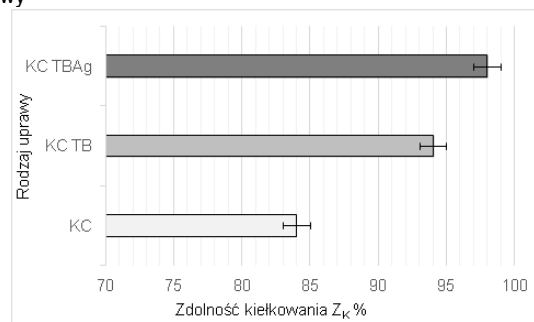
- od 84 do 98 % dla nasion lucerny (rys.3)
- od 83 do 99 % dla nasion koniczyny czerwonej (rys.4)

Zauważono, że zdolność kiełkowania badanych nasion z rodziny *Fabaceae*, była większa w uprawach prowadzonych na podłożach bambusowych. W przypadku

nasion lucerny i koniczyny czerwonej uprawianych na tkaninach bambusowych zdolność kiełkowania wzrosła o około 18 % w stosunku do upraw prowadzonych bez zastosowania dodatkowego podłoża.



Rys. 3. Zdolność kiełkowania Z_K [%] nasion lucerny po 9 dniach uprawy



Rys. 4. Zdolność kiełkowania Z_K [%] nasion koniczyny czerwonej po 9 dniach uprawy

Jednocześnie zaobserwowano, że udział nasion nieskiełkowanych (tabela 1) był najniższy i wynosił 1 ± 1 w przypadku nasion czerwonej koniczyny i 2 ± 1 w przypadku nasion lucerny w przypadku uprawy na podłożu bambusowym pokrytym warstwą srebra. Potwierdza to zasadność stosowania modyfikowanych podłoży tekstylnych z wykorzystaniem procesu fizycznego osadzania próżniowego w procesie bezglebowej uprawy nasion przeznaczonych na kiełki spożywcze. Zastosowane naturalne podłoże bambusowe oraz podłoże zmodyfikowane, pokryte warstwą srebra nie wywierało ujemnego wpływu na nasiona i dobrze utrzymywało wodę. Mogło ono mieć także korzystny wpływ na zdolność kiełkowania poprzez zapobieganie niekorzystnym zmianom mikrobiologicznym. Postawiona hipoteza wymaga jednak kontynuowania badań w kierunku oceny jakości mikrobiologicznej nasion i kiełków, których uprawa jest prowadzona na podłożach pokrytych cienką warstwą srebra.

Tabela 1. Wartość siewna nasion lucerny i koniczyny czerwonej wyrażona jako odsetek nasion niekiełkujących w zależności od zastosowanych warunków uprawy

Badana cecha	Uprawa bez podłoża tekstylnego	Uprawa na tkaninie bambusowej	Uprawa na tkaninie bambusowej pokrytej warstwą srebra
Wartość siewna			
Nasiona lucerny niekiełkujące	L	L TB	L TB _{Ag}
	16 ± 2^a	6 ± 1^b	2 ± 1^c
Nasiona koniczyny czerwonej niekiełkujące	KC	KC TB	KC TB _{Ag}
	13 ± 1^a	4 ± 1^b	1 ± 1^c

Podsumowanie

Nasiona lucerny i koniczyny czerwonej należące do rodziny *Fabeaceae* charakteryzowały się podobną energią kiełkowania niezależnie od zastosowanych warunków uprawy. Zastosowanie uprawy zmodyfikowanej, w której nasiona kiełkowały na podłożach bambusowych, skutkowało uzyskaniem wyższej zdolności kiełkowania. Najwięcej wykiełkowanych nasion w 9 dniu uprawy uzyskano, prowadząc uprawę nasion lucerny i koniczyny czerwonej na podłożach bambusowych pokrytych cienką warstwą srebra. Wydaje się uzasadnione prowadzenie dalszych badań w celu wykazania korzystnego wpływu na parametry kiełkowania nasion przeznaczonych do konsumpcji.

Autorzy: dr inż. Ewa Korzeniewska, Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej, ul. Stefanowskiego 18/22, 90 924 Łódź, e-mail: ewa.korzeniewska@p.lodz.pl; dr inż. Ilona Gałązka-Czarnecka, Politechnika Łódzka, Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności, Instytut Technologii i Analizy Żywności, ul. Wólczańska 171/173, 90 924 Łódź, e-mail: ilona.galazka-czarnecka@p.lodz.pl; mgr inż. Andrzej Czarnecki, Politechnika Łódzka Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności, Instytut Technologii i Analizy Żywności, ul. Wólczańska 171/173, 90 924 Łódź e-mail: andrzej.czarnecki@p.lodz.pl

LITERATURA

- [1] Maity S. Optimization of processing parameters of in-situ polymerization of pyrrole on woollen textile to improve its thermal conductivity. *Prog. Org. Coat.* 2017, 107, 48–53.
- [2] Kim M.; Kim S.; Kim T.; Lee D.K.; Seo B.K.; Lim C.S. Mechanical and thermal properties of epoxy composites containing zirconium oxide impregnated halloysite nanotubes. *Coatings* 2017, 7, 231.
- [3] Silva F.J.G.; Martinho R.P.; Andrade M.; Baptista A.P.M.; Alexandre R. Improving the wear resistance of moulds for the injection of glass fibre-reinforced plastics using PVD coatings: A comparative study. *Coatings* 2017, 7, 28.
- [4] Skordaris G.; Bouzakis K.; Kotsanis T.; Charalampous P.; Bouzakis E.; Lemmer O.; Bolz S.: Film thickness effect on mechanical properties and milling performance of nano-structured multilayer PVD coated tools. *Surf. Coat. Technol.* 2016, 307, 452–460.
- [5] Baptista A., Silva F., Porteiro J., Míguez J., Pinto G.; Sputtering Physical Vapour Deposition (PVD) Coatings: A Critical Review on Process Improvement and Market Trend Demands, *Coating* 2018, 8, 402; doi:10.3390/coatings8110402
- [6] Xueting Yan, Bin He, Lihong Liu, Guangbo Qu, Jianbo Shi, Ligang Hu, Guibin Jianga; Antibacterial mechanism of silver nanoparticles in *Pseudomonas aeruginosa*: proteomics approach *Metallomics*, 2018, 10, 557
- [7] Jung W. K., Koo H. C., Kim K. W., Shin S., Kim S. H., Park Y. H.: Antibacterial activity and mechanism of action of the silver ion in *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*, *Appl. Environ. Microbiol.*, 2008, 74, 2171–2178.
- [8] Feng Q. L., Wu J., Chen G. Q., Cui F. Z., Kim T. N., Kim J. Q.: A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, *J. Biomed. Mater. Res.*, 2000, 52(4), 662–668.
- [9] Randall C. P., Oyama L. B., Bostock J. M., Chopra I., O'Neill A. J.: The silver cation (Ag⁺): antistaphylococcal activity, mode of action and resistance studies, *J. Antimicrob. Chemother.*, 2013, 68, 131–138.
- [10] Gałązka-Czarnecka I.; Korzeniewska E.; Czarnecki A., Influence of thin silver layers deposited by physical vacuum deposition on energy and sprouting ability of red clover seeds, 2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE), IEEE Explore doi: 10.23919/PTZE.2019.8781738
- [11] Rozporządzenie wykonawcze Komisji UE 208/2013 z dnia 11 marca 2013 r. w sprawie wymogów dotyczących możliwości śledzenia kiełków i nasion przeznaczonych do produkcji kiełków. Dz. Urz. UE L 68 z 12.03.2013.
- [12] Scholz J., Nocke G., Hollstein F., Weissbach A.: Investigations on fabrics coated with precious metals using the magnetron sputter technique with regard to their anti-microbial properties. *Surface and Coatings Technology* 2005; 192(2–3): 252–256.
- [13] Budryn G., Gałązka-Czarnecka I., Brzozowska E., Grzelczyk J., Mostowski R., Żyżelewicz D., Cerón-Carrasco JP., Pérez-Sánchez H. Evaluation of estrogenic activity of red clover (*Trifolium pratense* L.) sprouts cultivated under different conditions by content of isoflavones, calorimetric study and molecular modelling. *Food Chemistry*, 2018, 245, 324–336
- [14] Brzozowska E., Gałązka-Czarnecka I., Krala L.: Wpływ rozproszonego promieniowania słonecznego na wybrane właściwości kiełków koniczyny czerwonej (*Trifolium pratense* L.), *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość*, 2014, 6 (97), 67
- [15] Gałązka-Czarnecka I., Krala L., Chłodnicze przechowywanie kiełków lucerny (*Medicago sativa* L.) w powietrzu i modyfikowanej atmosferze, *Chłodnictwo*, 2010, 1-2, 68-71
- [16] Budryn G., Klewicka E., Grzelczyk J., Gałązka-Czarnecka I., Mostowski R., Lactic acid fermentation of legume seed sprouts as a method of increasing the content of isoflavones and reducing microbial contamination, *Food Chemistry*. 2019, 285, 478-484
- [17] Oziębłowski M., Drózd T., Wrona P. " Pulsed Electric Fields (PEF) treatment on microorganisms in the context of food technology" *Przegląd Elektrotechniczny* (2013) 89 (12): 222–225
- [18] Oziębłowski M., Drózd M., Kielbasa P., Drózd T., Gliniak M., Nawara P., Ostafin M., "Impact of pulsed electric field on the quality of unpasteurized beer," *Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE)*, Koscielisko 2017, pp. 1-4. doi: 10.1109/PAEE.2017.8009011
- [19] Jakubowski T.: Wpływ mikrofal 2,45 GHz na wzrost rzeżuchy siewnej (*Lepidium sativum* L.) *Przegląd Elektrotechniczny* 2018, vol. 94, no 12 pp. 254-257, doi:10.15199/48.2018.12.58
- [20] Jakubowski T.: The reaction of garden cress (*Lepidium sativum* L. to microwave radiation, in: 2018 Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine (PTZE), IEEE Xplore digital library, 2018, ss. 81-84, doi:10.1109/PTZE.2018.8503170
- [21] Lapczynska-Kordon B.; Lis S., Tomasiak M.: Control of the microwave drying process of selected fruits and vegetables *Przegląd Elektrotechniczny* 2019, vol. 95, no. 3, pp. 74-77
- [22] Drozd T.; Bienkowski P.; Kielbasa P.; Nawara P., Popardowski, E.: The research stand to stimulation of biological materials by the various electromagnetic field, 2019 *Przegląd Elektrotechniczny* vol.: 95, no. 3 pp. 66-69
- [23] Sztafrowski D., Jazwiec B., Gumiela J., Kuliczowski K.: Influence of north and south poles of static magnetic field (SMF) on apoptosis of H160 cell line, 2018 *Przegląd Elektrotechniczny* vol.: 94 no. 12 pp. 182-185
- [24] Rymarczyk T., Oleszek M.; Szumowski J., Tchorzewski, P., Adamkiewicz P., Sikora J.: A hybrid tomography for assessing the moisture level of walls and building condition, 2019 *Przegląd Elektrotechniczny* vol. 95 no.2 pp. 100-103
- [25] Rymarczyk T., Szumowski J., Adamkiewicz P., Tchorzewski P.; Sikora J: Moisture Wall Inspection Using Electrical Tomography Measurements, 2018 *Przegląd Elektrotechniczny* vol. 94 no. 1 pp. 97-100
- [26] Hegemann D., Amberg M., Ritter A., Heuberger M.: Recent developments in Ag metallised textiles using plasma sputtering. *Materials Technology* 2009; 24(1): 41–45.
- [27] Pawlak R.; Korzeniewska E.; Koneczny C., Halgas B.: Properties of Thin Metal Layers Deposited on Textile Composites by Using the PVD Method for Textronic Applications, 2017 *Autex Research Journal*, vol. 17 no. 3 pp. 229-237
- [28] Pawlak R.; Lebiada M.; Tomczyk M., Rymaszewski J., Korzeniewska E., Walczak M.: Modelling and applications of conductive elements on textile materials, 2018, *Compe-The International Journal For Computation And Mathematics In Electrical And Electronic Engineering* vol. 37 no. pp. 1645-1656