

Wykorzystanie promieniowania mikrofalowego do selektywnej eliminacji flory w jej początkowym okresie rozwoju

Streszczenie. Wykorzystanie mikrofal do eliminacji systemów biologicznych jest możliwe i korzystne z ekologicznego punktu widzenia. W przeprowadzonym doświadczeniu pozwoliło wyeliminować rośliny konkurencyjne pozwalając na optymalny rozwój roślin uprawnych. Bariery w wprowadzeniu takiego rozwiązania na skalę przemysłową pozostaje duże zużycie energii w czasie trwania procesu oraz długi czas ekspozycji organizmu na promieniowanie.

Abstract. The use of microwaves to eliminate biological systems is feasible and beneficial from an environmental point of view. The experiment has demonstrated that microwave radiation helps eradicate competing plants, thereby enabling the optimal growth of cultivated plants. However, the high energy consumption during the process, and the prolonged exposure of the body to the radiation of 0.000158 m/s remain the main barriers to implementing this solution on an industrial scale. (The use of microwave radiation for selective elimination of flora in the initial stage of growth)

Słowa kluczowe: promieniowanie mikrofalowe, flora, eliminacja.

Keywords: radiation, microwave, flora, elimination.

Wstęp

Współczesna produkcja w obrębie żywności wymaga wysublimowanych metod prowadzących do jej konkurencyjności na rynkach światowych. Bardzo istotnym, ale też skomplikowanym zagadnieniem stała się selektywizacja produkowanych roślin danego arealu. Zagadnienie komplikuje tendencja eliminacji chemizacji produkcji i stopniowy powrót do technologii tradycyjnych, ale w ich nowoczesnym ujęciu. Jednym z skutecznych rozwiązań, które nie jest do końca zbadane jest zastosowanie promieniowania mikrofalowego. Promieniowanie mikrofalowe (zarówno jego efekt termiczny jak i nie termiczny) niszczy mikroorganizmy – bakterie, grzyby, wirusy, co potwierdza szereg badań [1,2,3,4,5,6,7]. Stosowana jest do sterylizacji czy dezynfekcji różnych materiałów na skalę przemysłową np.: żywność, odpady medyczne, papier, sterylizacja niemetalowego sprzętu medycznego [8,9]. Spotyka się nieliczne publikacje poświęcone wpływowi mikrofal na mikroorganizmy glebowe [10,11]. W większości są to prace wybiórczo ujmujące problem dotyczące się danego patogena bądź ujmujące problem zbyt pobieżnie [12]. Koszty eksploatacyjne sterylizacji odpadów medycznych przy użyciu urządzenia mikrofalowego są średnio dziesięciokrotnie mniejsze od urządzenia, w którym jako medium stosuje się przegrzaną parę [13].

Mikrofały są jednym z rodzajów promieniowania elektromagnetycznego. Długość fali zawarta jest w przedziale od 1 mm do 30 cm, (zakres między podczerwienią a falami ultrakrótkimi). Promieniowanie mikrofalowe charakteryzuje się dużą pochłanialnością przez materię. Odbywać się to może dwojako, na drodze polaryzacji dipolowej oraz dzięki przewodnictwu jonowemu. Pierwszy rodzaj pochłaniania energii mikrofal przez materię występuje w sytuacji, gdy materiał podany temu promieniowaniu posiada dipole. Są to cząsteczki chemiczne, które pod wpływem działania pola elektrycznego fali elektromagnetycznej ustawiają się zgodnie ze zwrotem i kierunkiem oddziałującego pola. Ze względu na zmianę wektora pola elektrycznego, co pół okresu fali dipole, na które działa dane pole również zmieniają swoje położenie, a co za tym idzie obracając się uderzają w kolejne cząstki. Poprzez wzajemne uderzenia przekazują nagromadzoną energię, co w konsekwencji powoduje powstanie i rozprzestrzenianie się ciepła. Temu

sposobowi poddają się substancje, które są dipolami (np woda) albo takie substancje zawierają w swoim składzie. Druga metoda przekazywania energii promieniowania mikrofalowego opiera się na przewodnictwie jonowym. Jony zawarte w danej materii poddawanej promieniowaniu przemieszczają się zgodnie z kierunkiem pola elektrycznego. Dodatkowo jony poruszają się w kierunku przeciwnym w stosunku do jonów ujemnych. Podczas ruchu zderzają się one wzajemnie jak również z innymi cząsteczkami dzięki czemu przekazują pochłoniętą energię cieplną, która to energia rozprzestrzenia się w danym materiale. Promieniowanie mikrofalowe oddziałuje na materię nieożywioną jak również na organizmy żywe. Odpowiedni czas ekspozycji oraz częstotliwość fali może powodować uszkodzenia komórek oraz tkanek. Stwarza to zagrożenie dla ludzi, jednocześnie umożliwia eliminację lub osłabienie jednostek żywych takich jak szkodniki czy chwasty.

Obecne technologie selektywnej eliminacji

Obecnie w rolnictwie stosuje się trzy podstawowe systemy walki z elementami niepożądanymi w uprawach (chwasty, szkodniki). Pierwszy, najstarszy opiera się na mechanicznym niszczeniu bądź usuwaniu organizmów konkurencyjnych dla uprawianej rośliny. Stosuje się ręczne pielenia (mikro uprawy) pielenia mechaniczne czy też w przypadku walki ze szkodnikami zbieracze stonki. Metody te są energochłonne, muszą być wielokrotnie powtarzane, ich skuteczność zależy w dużej mierze od warunków pogodowych. Druga metoda, najczęściej stosowana polega na stosowaniu chemicznych środków ochrony roślin. Charakteryzuje się dużą skutecznością, jednak wywiera niekorzystny wpływ na środowisko naturalne. Dodatkowo produkt uzyskany z upraw poddawanych takim zabiegom może zawierać pewne ilości środków, które były zastosowane. Trzecią metodą, która stosuje się w walce z organizmami niepożądanymi jest tak zwana metoda biologiczna, a więc dobieranie takich roślin rosnących obok siebie, które powodują zmniejszenie występowania szkodników. W połączeniu z odpowiednim zmianowaniem, uprawowymi zabiegami agrotechnicznymi, zastosowaniem metod niekonwencjonalnych (np wypalanie termiczne) stosowana jest w gospodarstwach ukierunkowanych na produkcję ekologiczną.

Wykorzystanie promieniowania mikrofalowego

Eliminacja organizmów żywych (takich jak szkodniki, chwasty) w uprawach jest możliwa również dzięki zastosowaniu promieniowania mikrofalowego. Jest to jedna z metod termicznych. Oddziaływając termicznie na organizmy żywe jest w stanie je wyeliminować lub też osłabić ich żywotność. Promieniowanie mikrofalowe jest jednym z dostępnym i możliwych do zastosowania źródeł energii cieplnej. Fale elektromagnetyczne ingerują w dipole wody zawarte w tkankach roślin oraz nasion umieszczonych w glebie. Dipole pod wpływem mikrofal powodują wzrost temperatury wewnątrz komórek powodując rozrywanie tkanek a co za tym idzie osłabienie lub całkowitą eliminację organizmu. Dodatkowo fale podgrzewają wodę zawartą w glebie, przez co fale działają nie tylko na części nadziemne roślin, ale również na korzenie. Metoda ta może być stosowana, jako odkażanie gleby -eliminuje ona wszelkie organizmy żywe w zakresie grubości warstwy gleby, na którą rozprzestrzenia się promieniowanie cieplne. Mięszkość tej warstwy uzależniona jest od wielu czynników takich jak moc zainstalowanego emitera mikrofal, czas ekspozycji, zawartość wody w glebie oraz jej struktura. Podobnie ma się sytuacja ze szkodnikami. Uszkodzeniu podlegają ich tkanki co powoduje natychmiastową ich eliminację. Część naziemna roślin poddana działaniu promieniowania mikrofalowego w zależności od czasu ekspozycji może zostać osłabiona (zamknięcie aparatów szparkowych) lub też całkowicie wyeliminowana. Uszkodzenie struktury tkanek przewodzących uniemożliwia roślinie dalszą gospodarkę substratami i produktami fotosyntezy prowadząc do obumierania części lub całości rośliny. Efekt ten jest trwały, przez co jednokrotne wykonanie zabiegu może zniszczyć roślinę oraz jej formy przetrwalnikowe w postaci nasion. W przypadku szkodników promieniowanie uszkadza ich tkanki oraz jaja złożone w warstwie gleby, na którą to promieniowanie oddziałuje. Zastosowanie mikrofal zamiast herbicydów do niszczenia niepożądanych nasion i pasożytniczych roślin jest przedmiotem dochodzenia od początku lat siedemdziesiątych przez USDA (Agricultural Research Center Welasco, Texas). Celem projektu było zniszczenie w glebie przed siewem wszystkich niepożądanych ziaren i bulw. Pierwszy prototyp urządzenia "Zapper" to zasadniczo czterokołowa przyczepa, przewożąca cztery generatory o mocy 1,5 kW, działające na częstotliwości 2,45 GHz i połączone za pomocą elastycznych przewodów do czterech anten, tworzących kwadrat. Pierwsza próba z „Zapperem” przyniosła bardzo dobre wyniki pozbywając się trawy, pasożytniczych grzybów i nicieni [14]. Podobne eksperymenty też z wykorzystaniem promieniowania mikrofalowego do hamowania kiełkowania nasion chwastów, bezpośrednio w podłożu oraz w doniczkach w szklarni przeprowadzili Velázquez-Martí i in. [15]. Od strony technicznej trudność przysparza sposób, w jaki można skierować całe promieniowanie na dużej powierzchni. Sam wpływ promieniowania mikrofalowego na organizmy żywe może wywołać efekt termiczny i poza termiczny. Do efektów nietermicznych (poza termicznych) zalicza się skutki ekspozycji organizmu na długotrwałe niskie dawki promieniowania. Do zmian dochodzi w obrębie układu nerwowego, narządu wzroku oraz obrazu krwi. Do najczęstszych objawów należą bóle głowy, zaburzenia snu, chroniczne zmęczenie, drżenie rąk oraz nadpobudliwość nerwowa.

Cel i zakres badań

Celem badań było określenie wpływu oddziaływania promieniowania mikrofalowego na rozwój roślin niepożądanych. Zakres badań obejmował określenie parametrów promieniowania mikrofalowego, które umożliwi

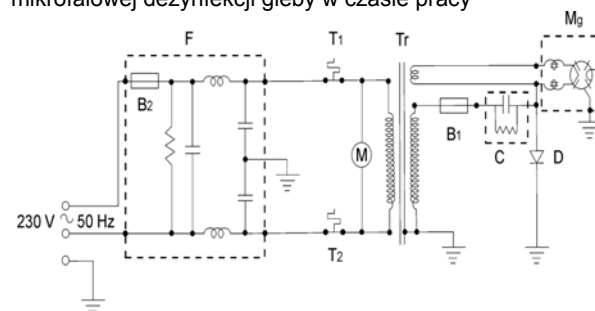
skuteczne niszczenie roślin konkurencyjnych. Ponadto określono nakłady energetyczne przy poszczególnych wariantach pracy urządzenia oraz efektywność promieniowania mikrofalowego w eliminacji w/w roślin.

Metodyka badań

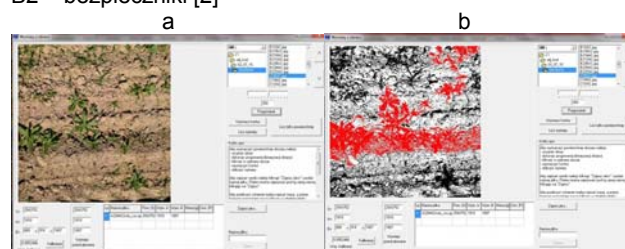
W doświadczeniu do eliminacji roślin niepożądanych wykorzystano urządzenie samobieżne emitującego mikrofałe (rys.1) [16] do którego budowy został użyty magnetron wytwarzający fale elektromagnetyczne o częstotliwości 2450 MHz o mocy 800 W, schemat elektryczny urządzenia przedstawiono na rysunku 2. Magnetron zasilano z transformatora podwyższającego napięcie poprzez powielacz napięcia składający się z kondensatora i diody.



Rys. 1. Widok ogólny samobieżnego urządzenia do mikrofalowej dezynfekcji gleby w czasie pracy



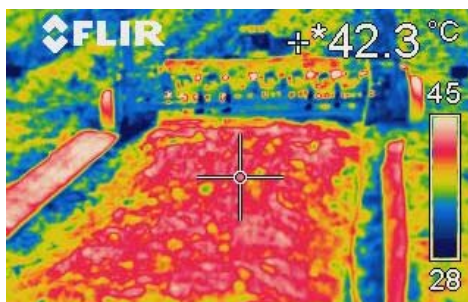
Rys. 2. Schemat elektryczny urządzenia do mikrofalowej dezynfekcji gleby. F – filtr, T1, T2 – wyłączniki termiczne, Tr – transformator wysokiego napięcia, M – silnik wentylatora chłodzącego magnetron, Mg – magnetron, D – dioda wysokonapięciowa, C – kondensator wysokiego napięcia, B1, B2 – bezpieczniki [2]



Rys. 3. Zdjęcie wykrytego poziomu zachwaszczenia: (a) przed binaryzacją, (b) po binaryzacji i identyfikacji roślin

Poddano oddziaływaniu promieniowania mikrofalowego glebę przed siewem roślin właściwych, które miało wyeliminować rośliny konkurencyjne (niepożądane). Zastosowano trzy warianty prędkości przemieszczania się anteny mikrofalowej: $0,57 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ (I); $1,09 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ (II) oraz $1,71 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ (III). Stopień eliminacji określano metoda video komputerową [17] licząc powierzchnię flory niepożądanej (rys.3a) odniesionej do całkowitej powierzchni poletka po zbinaryzowaniu zdjęcia (rys.3b).

Proces równomierności nagrzewania mikrofalowego gleby był monitorowany przy pomocy kamery termowizyjnej, której przykładowe zdjęcie zamieszczono na rysunku 4.

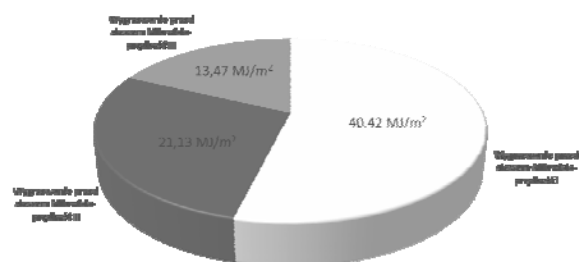


Rys. 4. Oddziaływanie promieniowania mikrofalowego na powierzchnię gleby

Badania przeprowadzono wykorzystując metodykę kwadratu łacińskiego do rozmieszczenia poletek doświadczalnych poszczególnych kombinacji doświadczenia. Dodatkowo wprowadzono rośliny uprawne wysiewane po zabiegu mikrofalowym aby określić ich wzrost i rozwój a tym samym oddziaływanie nagrzewania mikrofalowego na efekt w postaci plonu roślin. Stopień eliminacji roślin niepożądanych oceniano czterokrotnie w okresie wegetacji i tym, samym oceniono efekt czasowy oddziaływania promieniowania mikrofalowego na rozwój roślin, które to promieniowanie powinno zniszczyć.

Wyniki badań

Bardzo istotna z punktu widzenia wdrożenia technologii do praktyki jest energochłonność zabiegu, która powinna być zrekompensowana z wynikających z niego korzyści. W analizowanym doświadczeniu nakład energetyczny generowany w trakcie zabiegów mikrofalowego nagrzewania gleby był proporcjonalny do prędkości przemieszczania urządzenia po powierzchni pola (rys. 5).



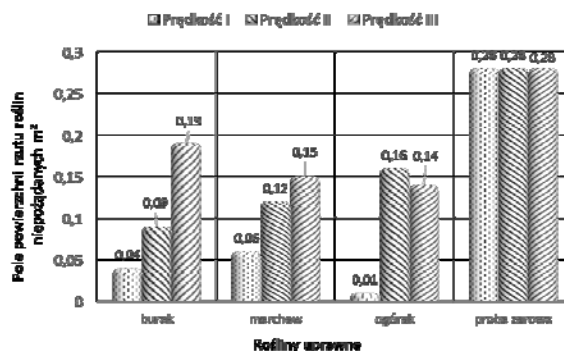
Rys. 5. Nakład energetyczny konieczny do przeprowadzenia zabiegu

Energochłonność czynności oscylowała od 13,47 MJ·m⁻² w przypadku najniższej prędkości jazdy (1,71 m·h⁻¹) do 40,42 MJ·m⁻² odnotowanej dla najniższej prędkości jazdy wynoszącej 0,57 m·h⁻¹. Stwierdzony ok. trzykrotny wzrost nakładów energetycznych między skrajnymi prędkościami jazdy w czasie pracy urządzenia nie znalazł bezpośredniego przełożenie w efektywności eliminacji roślin niepożądanych (rys. 8,9) a biorąc po uwagę wegetacyjny interwał czasowy różnice w występowaniu flory niepożądanej wyraźnie zanikają.

Na rysunku 6 przedstawiono pole powierzchni rzutu roślin niepożądanych na glebę zmierzone dwa tygodnie po przeprowadzonym zabiegu. Odnotowano że w przypadku najwyższej dawki promieniowania średnia wartość pola powierzchni rzutu eliminowanej flory była aż siedem razy mniejsza od wartości przedmiotowego pola powierzchni odnotowanego dla próby zerowej (bez oddziaływania mikrofalowego).

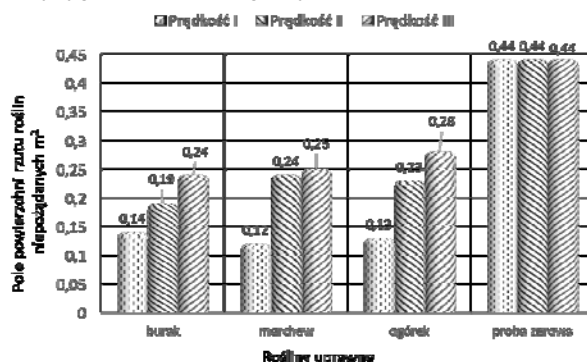
Znacznie mniejsze zróżnicowanie odnotowano w wartościach między polem powierzchni roślin uwzględniając dawkę promieniowania mikrofalowego wynikającą z

prędkości przemieszczania się urządzenia do mikrofalowej dezynfekcji podłoża. W przypadku prędkości I i II zróżnicowanie pola powierzchni roślin było dwukrotne, natomiast między przedmiotowym polem powierzchni odnotowanym przy prędkościach skrajnych jazdy urządzenia zróżnicowanie było ok. 6 krotne.



Rys. 6. Pole powierzchni roślin niepożądanych w relacji z dawką promieniowania mikrofalowego (pierwszy pomiar)

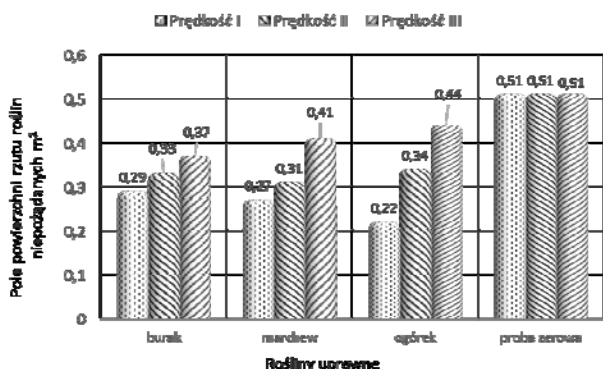
Analizując skuteczność eliminacji roślin niepożądanych przy II i III zakresie prędkości pracy urządzenia do dezynfekcji podłoża zaobserwowano nieznaczne zróżnicowanie wynoszące w wartościach bezwzględnych ok. 0,1 m² powierzchni roślin na powierzchni pomiarowej wynoszącej 1 m². Nie zaobserwowano wpływu na wartość pola powierzchni rośliny uprawnej co wynika z terminu przeprowadzonego pomiaru w czasie którego rośliny dopiero zaczynały kiełkować. Biorąc pod uwagę długoterminową skuteczność przeprowadzonego zabiegu nagrzewania mikrofalowego podłoża w celu eliminacji flory niepożądanej wykonano pomiar powierzchni tych roślin cztery tygodnie po zabiegu (rys. 7).



Rys. 7. Pole powierzchni roślin niepożądanych w relacji z dawką promieniowania mikrofalowego (drugi pomiar)

Stwierdzono wyraźnie mniejsze zróżnicowanie w wartościach pola powierzchni rzutu roślin niepożądanych na powierzchnię gleby, bo tylko dwukrotne w stosunku do zróżnicowania odnotowanego w przypadku pomiaru dokonanego po dwóch tygodniach od zabiegu (rys. 6) dla skrajnych prędkości przemieszczania urządzenia do dezynfekcji gleby. Biorąc po uwagę pole powierzchni roślin odnotowane po przejeździe urządzenia do dezynfekcji mikrofalowej z prędkością 1,71 m·h⁻¹ i 1,09 m·h⁻¹ różnice były nieznaczne i w wartościach bezwzględnych wynosiły średnio ok. 0,03 m². Należy zaznaczyć że pole powierzchni roślin niepożądanych po zabiegu mikrofalowego ich niszczenia przy największej dawce promieniowania nie przekraczała 0,14 m² a przy najmniejszej dawce 0,28 m² w przypadku braku ingerencji promieniowaniem mikrofalowym powierzchnia ta wynosiła aż 0,44 m² na 1 m² powierzchni pola.

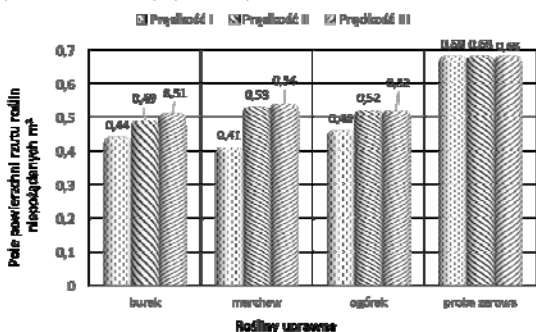
W przypadku wydłużania się interwału czasowego w którym dokonywano pomiaru pola rzutu powierzchni roślin niepożądanych następowało zmniejszenie względnego zróżnicowania między odnotowywanymi wartościami w obrębie różnych dawek promieniowania. Po sześciu tygodniach od daty przeprowadzenia zabiegu (rys. 8) między powierzchniami roślin przy skrajnych dawkach promieniowania zróżnicowanie jest ok. dwukrotne.



Rys. 8. Pole powierzchni roślin niepożądanych w relacji z dawką promieniowania mikrofalowego (pomiar trzeci)

Należy jednak zaznaczyć że pomimo wzrostu roślin uprawnych widać pozytywny wpływ zabiegu mikrofalowego niszczenia roślin niepożądanych, ponieważ w przypadku próby zerowej ich powierzchnia na 1 m² powierzchni pola przekracza 0,5 m².

Najmniej widoczny wpływ dawki promieniowania mikrofalowego stwierdzono po ośmiu tygodniach od daty przeprowadzenia zabiegu (rys. 9), gdzie różnica względna wynosiła w skrajnym przypadku 12%.



Rys. 9. Pole powierzchni roślin niepożądanych w relacji z dawką promieniowania mikrofalowego (pomiar czwarty)

Powierzchnia roślin niepożądanych w przypadku braku ingerencji mikrofalowej wynosiła na 1 m² powierzchni pola przekracza 0,68 m² i była o 0,14 m² większa w stosunku do najwyższej wartości pola powierzchni roślin odnotowany po zastosowaniu mikrofal. Na uwagę zasługuje pozytywny efekt czasowy oddziaływania mikrofalowego oddziaływania eliminacji roślin niepożądanych.

Podsumowanie

Wykorzystanie mikrofal do eliminacji systemów biologicznych jest możliwe i korzystne z ekologicznego punktu widzenia dając kilkakrotnie mniejszą powierzchnię roślin niepożądanych w obrębie pola stwarzając komfortowe warunki roślinom uprawnym a co się z tym wiąże mniejszą chemizację procesu produkcyjnego. Barierą we wprowadzeniu takiego rozwiązania na skalę przemysłową pozostaje duże zużycie energii w czasie trwania procesu, które nie jest rekompensowane plonem oraz długi czas ekspozycji organizmu na promieniowanie.

Autorzy: dr hab. inż. Paweł KIEŁBASA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, E-mail: Pawel.Kielbasa@ur.krakow.pl; mgr inż. Krzysztof Pikul, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, E-mail: Tomasz.Drozd@office.urk.edu.pl; dr inż. Tomasz Drożdż, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, E-mail: tomasz.drozd@office.urk.edu.pl; dr inż. Piotr Nawara, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, E-mail: rtawara@cyf-kr.edu.pl; dr inż. Krzysztof Necka, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, E-mail: Krzysztof.NECKA@ur.krakow.pl; dr inż. Maciej OZIEMBLÓWSKI, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, E-mail: Maciej.Oziembowski@up.wroc.pl; dr inż. Stanisław Lis, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, E-mail: Stanislaw.Lis@ur.krakow.pl; dr inż. Marcin Tomasik, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, E-mail: Marcin.Tomasik@ur.krakow.pl; dr inż. Marek OSTAFIN, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, E-mail: mostafin@ar.krakow.pl

LITERATURA

- [1] Webb B.C., Thomas C.J., Harty S., Willcox D.P. 1998. Effectiveness of two methods of denture sterilization. *Journal of Oral Rehabilitation* 25: 416–423.
- [2] Datta A.K., Davidson P. M. 2000: Microwave and Radiofrequency Processing. In: *Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies*. *Journal of Food Science, Supplement* 12: 32 – 41.
- [3] Rosenberg U., Bögl W. 1987: Microwave Pasteurization, Sterilization, Blanching, and Pest Control in the Food Industry. *Food Technology* 41,6: 92-99.
- [4] Shiah TC., Chang TT. Fu. CH. 2001: The application of microwave irradiation for the disinfection of paper. *Taiwan J For Sci* 16,4: 327-32.
- [5] Halverson S.L., Bigelow T.S., Halverson W.R. 2001: Design of a High Power Microwave Applicator for the Control on Insects in Stored Product. *Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions*, November, San Diego, CA, Number 83.
- [6] Jeng D.K., Kaczmarek K.A., Woodworth A.G., Balasky G. 1987: Mechanism of microwave sterilization in the dry state. *Applied Environmental Microbiology*. September; 53 (9): 2133–2137.
- [7] Wang, S. and J. Tang. 2001. Radio frequency and microwave alternative treatments for nut insect control: a review. *International Agricultural Engineering Journal* 10: s.105-120.
- [8] Bogucki J. 1997: Zastosowanie mikrofal w rolnictwie. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*. 08, s.7-9.
- [9] Gawłowska A. 2003. Mikrofałe w przemyśle spożywczym. *Cukiernictwo i Piekarnictwo*. t.7, nr. 6. s.46-47.
- [10] Boer W., Verheggen P., Paulien J.A., Gunnewiek K., Kowalchuk G.A., J.A. van Veen. 2003: Microbial Community Composition Affects Soil Fungistasis. *Applied and Environmental Microbiology*, February, Vol. 69, No. 2, p. 835-844.
- [11] Moosmann A., Koch W. 1988: Soil disinfection by microwaves with special reference to weed control. *Weed control in vegetable production. Proceedings of a meeting of the EC Experts' Group*, Stuttgart 28-31 Oct. 1986, 187-193.
- [12] Pauwels F. 1989: Soil disinfection in Belgian Horticulture: a practice view. *Acta-Horticulturae*, No. 255, 31-35.
- [13] Głuszyński P. 1995: Alternatywne metody unieszkodliwiania odpadów medycznych. *Ogólnopolskie Towarzystwo Zagospodarowania Odpadów "3R"*, Kraków.
- [14] Thuery, J. 1992. *Microwaves: Industrial, Scientific and Medical Applications*. Norwood, MA: Artech House.
- [15] Velazquez-Marti, B., C. Gracia-Lopez and A. Marzal-Domenech. 2006. Germination inhibition of undesirable seed in the soil using microwave radiation. *Biosystems Engineering* 93(4): s. 365-373.
- [16] Słowiński Krzysztof: Wpływ promieniowania mikrofalowego wyemitowanego do nieodkazanego podłoża szkółkarskiego na przeżywalność i wybrane cechy jakościowe sadzonek sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Rozprawy*, vol. 537, nr 394, 2013, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego, 122 s.
- [17] Kielbasa P., Budyn P., Rad M. 2008. Wykorzystanie elektronicznego układu pomiarowego do oceny wybranych cech fizycznych produktów rolnych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr. 71(105), s. 93-100.