

Wpływ promieniowania mikrofalowego na stopień eliminacji mikroorganizmów w wierzchniej warstwie gleby

Streszczenie. Badania dotyczą wpływu wielkości dawki promieniowania mikrofalowego na stopień eliminacji mikroorganizmów znajdujących się w glebie. W eksperymencie źródło promieniowania mikrofalowego miało częstotliwość 2450 MHz i mocy 800 W, którego oddziaływanie na mikroorganizmy mierzono w profilu glebowym do głębokości 0,01m. Odnotowano wyraźny spadek populacji mikroorganizmów w obszarach oddziaływania promieniowania.

Abstract. The study deals with the effect of microwave radiation dose on the degree of elimination of microorganisms in the soil. In the experiment the microwave source had a frequency of 2450 MHz and a power of 800 W, which impact on the microorganisms was measured in the soil profile to the depth of 0.01 m. There has been a marked decrease in the population of microorganisms in the areas of radiation exposure. (**Effect of microwave radiation on the degree of elimination of microorganisms in the top layer of soil**).

Słowa kluczowe: promieniowanie mikrofalowe, mikroorganizmy, dezynfekcja, ekologia.

Keywords: microwave radiation, microorganisms, disinfection, ecology.

Wstęp

Promieniowanie mikrofalowe stosowane jest w wielu dziedzinach i różnorodnych procesach produkcyjnych. Wykorzystuje się zarówno efekt termiczny jak i nietermiczny oddziaływania mikrofalowego np. do niszczenia wirusów, bakterii, grzybów [1,2,3]. Szeroko rozpowszechnione jest zastosowanie promieniowania mikrofalowego do sterylizacji sprzętu medycznego, dezynfekcji żywności, i odpadów [4,5]. W produkcji roślinnej wykorzystuje się promieniowanie mikrofalowe na różnych etapach procesu technologicznego, najczęściej na etapie stymulacji materiału sadzeniowego [6,7]. Podjęto również udane próby selektywnego niszczenia chwastów w produkcji ekologicznej [8] w przypadku roślin szybkoorosnących. Biorąc pod uwagę środowisko glebowe a szczególnie mikroorganizmy w nim występujące należy stwierdzić że wpływ promieniowania mikrofalowego na nie jest mało rozpoznany, świadczy o tym niewielka ilość publikacji naukowych [9,10], podobna sytuacja dotyczy gleb leśnych [11,12,13]. Problem komplikuje fakt, że badania wpływu promieniowania mikrofalowego na mikroorganizmy wykazały zróżnicowaną reakcję na to promieniowanie [14]. Mikrofałe są jednym z rodzajów promieniowania elektromagnetycznego o długości fali od 1mm do 30 cm, czyli o częstotliwości ok. od 1 – 300 GHz. Promieniowanie mikrofalowe charakteryzuje się dużą pochłalnością przez materię. Odbywać się to może dwójako, 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. 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. Metoda ta może być stosowana, jako odkażanie gleby ponieważ eliminuje wszelkie organizmy żywe w zakresie grubości warstwy gleby, na którą rozprzestrzenia się promieniowanie cieplne. Miąższość tej warstwy uzależniona jest od wielu czynników

takich jak moc zainstalowanego emitera mikrofal, czas ekspozycji, zawartość wody w glebie oraz jej struktura.

Obecne technologie eliminacji mikroorganizmów glebowych

Współczesne technologie produkcji szczególnie w monokulturowych systemach zamkniętych wymagają okresowej dezynfekcji podłoża. Najczęściej dezynfekcję przeprowadza się wykorzystując środki chemiczne (Sadoplone 75 WP, Basamid 97 GR), można również stosować termiczne odkażanie gleby poprzez parowanie podłoża. Jest to metoda bardziej kosztowna, lecz często przynosząca większe korzyści. Ogrzewając glebę suchą parą o odpowiedniej temperaturze zniszczone zostają bakterie, grzyby, nicienie, owady, nasiona chwastów oraz wirusy glebowe. Wydaje się, że alternatywą dla w/w metod dezynfekcji podłoża może stać się wykorzystanie promieniowania mikrofalowego, którego operowanie nie wymusza izolacji powierzchni dezynfekowanych. Przeprowadzony przez Mavrogianopoulos [15] eksperymenty z wykorzystaniem generatora mikrofal (magnetronu) o nominalnej mocy 900W i częstotliwości 2,45 GHz dezynfekcji gleby o wilgotności 15% i temperaturze początkowej 20°C pozwolił określić zapotrzebowanie mocy, która wynosiła ok. 20 kWh·m⁻² czyli prawie 72 MJ·m⁻² energii do ogrzania gleby na głębokość 10 cm do temperatury 61°C.

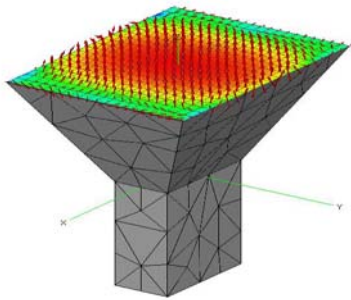
Cel i zakres badań

Celem badań było określenie wpływu oddziaływania promieniowania mikrofalowego na wielkość populacji mikroorganizmów glebowych. Zakres badań obejmował określenie relacji między parametrami promieniowania mikrofalowego a stopniem eliminacji wybranych mikroorganizmów glebowych umiejscowionych na różnych głębokościach profilu glebowego. Dodatkowo określono istotność różnic w obrębie badanych parametrów promieniowania mikrofalowego przy oddziaływaniu na mikroorganizmy oraz wielkość nakładów energetycznych dla poszczególnych wariantów doświadczenia.

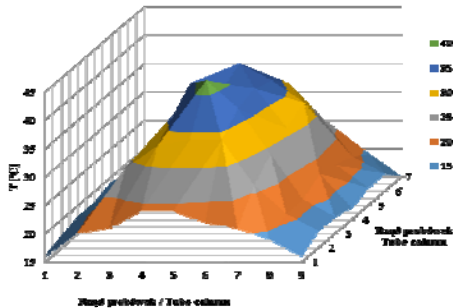
Metodyka badań

Do dezynfekcji gleby wykorzystano anteny tubowe [11], których rozkład natężenia generowanego pola elektromagnetycznego przedstawiono na rysunku 1.

Słowiński [11] potwierdził poprawność działania charakterystyki natężenia pola mikrofalowego zaprojektowanej anteny tubowej przeprowadzając eksperyment z próbkami wody (rys. 2).



Rys. 1. Rozkład natężenia pola elektromagnetycznego emitowanego z zaprojektowanej anteny tubowej [11]



Rys. 2. Rozkład temperatury wody w probówkach umieszczonych w stojaku nad anteną tubową emitującą mikrofalę o mocy 800W, czas nagrzewania 1 minuta,

Urządzenie było wykorzystywane z pozytywnym skutkiem w przypadku selektywnej eliminacji roślin niepożądanych [8] w uprawach ekologicznych. W badaniach zastosowano identyczne ustawienia, pozwalające na odniesienie uzyskanych wyników badań do eksperymentu [8] i ewentualną optymalizację procesu uwzględniającą wymagania mikrobiologiczne. Pomimo że urządzenie jest mobilne doświadczenie przeprowadzono statystycznie (rys. 3), natomiast dawkę promieniowania ustalono poprzez czas ekspozycji gleby symulując dawkę promieniowania mikrofalowego odpowiadającego zastosowaniu trzech wariantów prędkości przemieszczania się anteny mikrofalowej tj.: $0,5 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ (I); $1,0 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ (II) oraz $1,71 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ (III).



Rys. 3. Widok ogólny urządzenia do mikrofalowej dezynfekcji gleby w czasie pracy

Glebę do eksperymentu stanowiła rzeczywista powierzchnia pola, której profil był o nienaruszonej strukturze. Doświadczenie przeprowadzono dla dwóch przedziałów głębokości penetracji mikrofalowej gleby tj.: od 0 m do 0,05 m oraz od 0,05 m do 0,1 m. W doświadczeniu wykorzystano konieczne zasady bezpieczeństwa pracy [16] Zwilżość gleby i jej wilgotność przed promieniowaniem mikrofalowym mierzono penetrometrem elektronicznym z sondą wilgotności (rys.4) firmy Ejkelkamp [17].

Analizy mikrobiologiczne oparto na wykonaniu oznaczeń liczebności wybranych grup drobnoustrojów w obrębie głębokości profilu glebowego wynoszącego 0–0,05 m i 0,05–0,1 m. Próbkę były pobierane do sterylnych szklanych

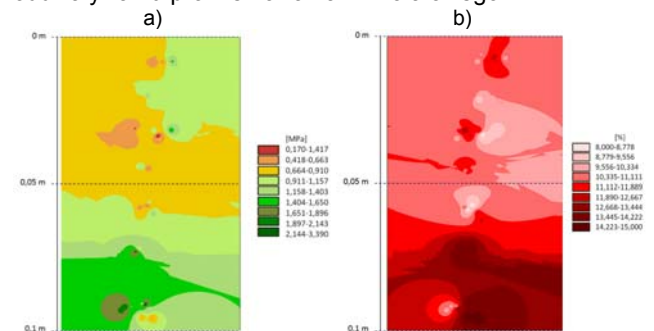
kolbek z wierzchniej warstwy gleby za pomocą jałowego noża mikrobiologicznego. Oznaczenia liczebności drobnoustrojów przeprowadzono standardową metodą płytkową kolejnych rozcieńczeń. Metoda obejmowała określenie ogólnej liczby bakterii (formy wegetatywne i przetrwalnikowe) oraz promieniowców i grzybów. Odczyt analizy ilościowej był wykonywany po okresie inkubacji właściwym dla poszczególnych grup mikroorganizmów: bakterie – 24 h w temperaturze 37°C na podłożu TSA, promieniowce – 72 h i 28°C na podłożu Gausa, grzyby – 96 h w 28°C na agarze brzczkowym. Oznaczono liczbę jednostek tworzących kolonie (jtk), które wyrosły na określonych podłożach mikrobiologicznych na płytkach Petriego.



Rys. 4. Widok ogólny penetrometru elektronicznego wyposażonego w sondę wilgotności

Wyniki badań

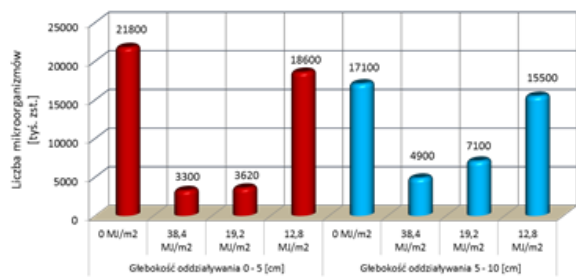
Na rysunku 5 przedstawiono rozkład zwięzłości (a) i wilgotności (b) profilu glebowego, który poddawany był oddziaływaniu promieniowania mikrofalowego.



Rys. 5. Zwięzłość (a) i wilgotność (b) gleby w obrębie oddziaływania promieniowania mikrofalowego

Zwięzłość gleby (rys. 5a) w pierwszym analizowanym przedziale głębokości (0 m - 0,05 m) wynosiła średnio 0,8 MPa i charakteryzowała się niewielkim zróżnicowaniem. W przypadku drugiej analizowanej głębokości (0,05 m - 0,1 m) wystąpiło nieco wyższe zróżnicowanie zwięzłości gleby przy wartości średniej wynoszącej 1,18 MPa. Wartości zwięzłości wynoszące ponad 2 MPa (kolor ciemnozielony) miały charakter incydentalny i nie wpływały istotnie na wynik przeprowadzonego eksperymentu. Wilgotność gleby (rys. 5b) w czasie pomiarów wyniosła od 8% (kolor lekko czerwony) do 15% (kolor ciemnoczerwony). Należy zaznaczyć że w obrębie głębokości profilu glebowego do 0,05 m zmienność wilgotności gleby była znikoma i nie przekraczała w wartościach bezwzględnych 2%, nieco wyższą zmienność wilgotności gleby zaobserwowano w jej głębszej warstwie gdzie wynosiła wartości 4%.

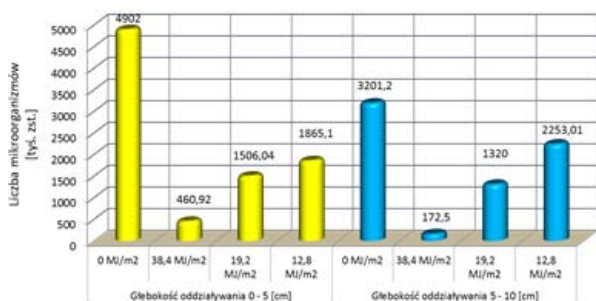
Na rysunku 6 przedstawiono liczbę bakterii wegetatywnych zidentyfikowanych w glebie po zabiegu. Zaobserwowano, że w przypadku oddziaływania promieniowania mikrofalowego do głębokości 0,05 m (kolor czerwony słupków) pięciokrotnie spadła liczebność bakterii wegetatywnych przy dawce promieniowania $38,4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ oraz $19,2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, natomiast dla nieco mniejszej dawki promieniowania ($12,8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) spadek liczebności mikroorganizmów był znacznie niższy.



Rys. 6. Liczba bakterii wegetatywnych po oddziaływaniu promieniowaniem mikrofalowym

W przypadku drugiej głębokości oddziaływania promieniowania mikrofalowego (kolor niebieski) zaobserwowano podobną relację, jednak wartość względna zmniejszenia populacji bakterii wegetatywnych była niższa w stosunku do wpływu promieniowania odnotowanego dla pierwszej głębokości. Należy jednak zaznaczyć, że w obu analizowanych przypadkach stwierdzono negatywny wpływ promieniowania mikrofalowego na liczebność bakterii wegetatywnych oraz brak istotnego zróżnicowania między liczebnością przedmiotowych bakterii a dawką promieniowania w obrębie wartości od 38,4 MJ·m⁻² do 19,2 MJ·m⁻².

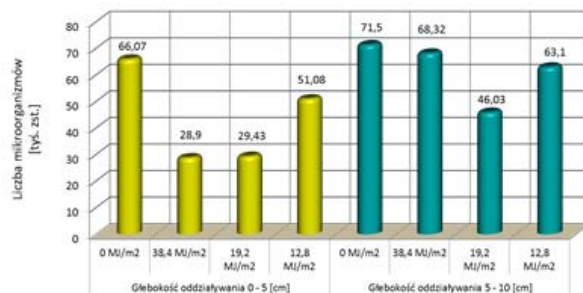
Na rysunku 7 przedstawiono liczbę bakterii spoczynkowych zidentyfikowanych w glebie na dwóch głębokościach po oddziaływaniu promieniowaniem mikrofalowym, którego dawka była adekwatna do prędkości przemieszczania się urządzenia po powierzchni pola. Odnotowano spadek bakterii spoczynkowych w każdej kombinacji doświadczenia. W przypadku organizmów umiejscowionych w wierzchniej warstwie gleby (kolor żółty) dla najdłuższego czasu ekspozycji na oddziaływanie mikrofalowe liczba bakterii wynosiła 460 tys. szt. z 4902 tys. szt., które stwierdzono w próbie kontrolnej (bez oddziaływania promieniowania mikrofalowego). W analizowanym przypadku zróżnicowanie dawki promieniowania przekładało się na istotne statystycznie zróżnicowanie wielkości populacji bakterii spoczynkowych. Podobne relacje zaobserwowano w przypadku głębszej warstwy gleby (kolor niebieski), jednak należy zaznaczyć że liczba bakterii spoczynkowych w próbie zerowej była o ok. 1 milion niższa w stosunku do tożsamej liczby odnotowanej w płytszej warstwie gleby. Konsekwencją jest niższa populacja bakterii odnotowana w dwóch pierwszych kombinacjach wielkości dawki promieniowania. Natomiast w przypadku najmniejszej dawki promieniowania liczba bakterii jest najwyższa. Należy podkreślić że zaobserwowane zróżnicowanie jest statystycznie istotne i może być wykorzystane do optymalizacji dawki promieniowania w obrębie omawianych mikroorganizmów.



Rys. 7. Liczba bakterii spoczynkowych po oddziaływaniu promieniowaniem mikrofalowym

Znacznie wyższe zróżnicowanie odnotowano w przypadku wielkości populacji grzybów poddawanych oddziaływaniu promieniowania mikrofalowego (rys. 8). Stwierdzono, że w przypadku pierwszej głębokości

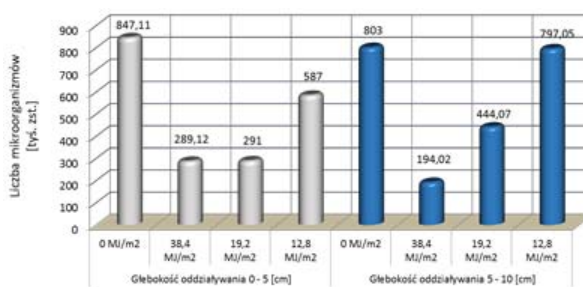
oddziaływania mikrofalowego (słupki koloru oliwkowego) następował wyraźny spadek populacji wraz ze wzrostem wielkości dawki promieniowania, należy jednak zaznaczyć, że różnice istotną statystycznie odnotowano tylko między próbą zerową a próbami po oddziaływaniu mikrofalowym bez względu na wielkość dawki promieniowania.



Rys. 8. Liczba grzybów po oddziaływaniu promieniowaniem mikrofalowym

Natomiast w obrębie prób poddanych działaniu promieniowania mikrofalowego nie odnotowano statystycznie istotnej różnicy. W przypadku analizy wyników dotyczących drugiej głębokości spadek liczby grzybów w glebie poddanej najwyższej dawce promieniowania był nieznaczny a najwyższy spadek odnotowano przy zastosowaniu dawki promieniowania 19,2 MJ·m⁻².

Zaobserwowano wyraźny wpływ oddziaływania mikrofalowego na populację drożdży, stwierdzenie to dotyczy również zróżnicowania dawki promieniowania, które przełożyło się na stopień eliminacji analizowanych mikroorganizmów bez względu na głębokość ich umiejscowienia w glebie (rys. 9).



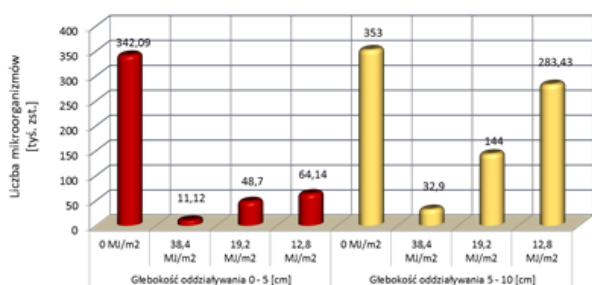
Rys. 9. Liczba drożdży po oddziaływaniu promieniowaniem mikrofalowym

Jedyny wyjątek stanowi dawka promieniowania wynosząca 38,4 MJ·m⁻² i 19,2 MJ·m⁻², której oddziaływanie nie wymusiło istotnego statystycznie zróżnicowania w populacji drożdży w warstwie gleby (0 m - 0,05 m) – słupki koloru szarego. Biorąc pod uwagę drugą głębokość profilu glebowego zaobserwowano że proporcjonalne oddziaływanie dawki promieniowania na zmniejszenie liczby grzybów a odnotowane różnice były istotne. Należy zaznaczyć, że najmniejszy czas ekspozycji na promieniowanie mikrofalowe, którego dawka wynosiła 12,8 MJ·m⁻², nie przekładał się wymiennie na stopień eliminacji grzybów (druga głębokość) który był znikomy w stosunku do próby zerowej (różnica względna wynosiła 0,1%).

W przypadku promieniowców odnotowano bardzo dobrą skuteczność ich eliminacji przez promieniowanie mikrofalowe dla pierwszej głębokości jego oddziaływania (kolor czerwony słupków) bez względu na zastosowaną dawkę promieniowania (rys. 10).

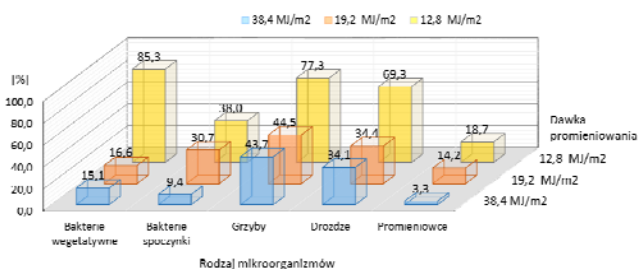
Równie wyraźny spadek liczby promieniowców odnotowano w czasie oddziaływania promieniowaniem mikrofalowym na drugiej głębokości ich umiejscowienia (0,05-0,1m), gdzie najmniejszą populację mikroorganizmów

stwierdzono w przypadku najwyższej dawki promieniowania ($38,4 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) a najwyższą liczebność przy dawce promieniowania wynoszącej $12,8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$.



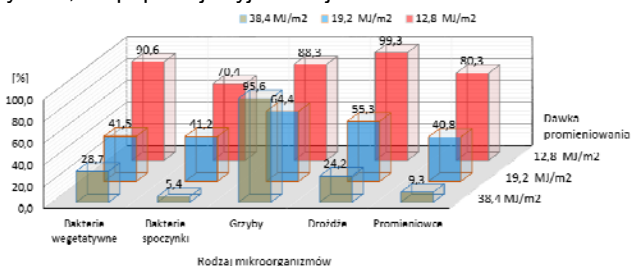
Rys. 10. Liczba promieniowców po oddziaływaniu promieniowaniem mikrofalowym

Na rysunku 11 przedstawiono procentową strukturę liczebności populacji mikroorganizmów usytuowanych w glebie do głębokości 0,05m po oddziaływaniu promieniowaniem mikrofalowym w stosunku do próby zerowej, której wartość wynosi 100%. Najwyższą skuteczność zabiegu odnotowano w przypadku promieniowców gdzie zostało tylko 3,3% początkowej, dotyczy to wszystkich zastosowanych w doświadczeniu dawek promieniowania.



Rys. 11. Struktura wielkości populacji mikroorganizmów po oddziaływaniu promieniowaniem mikrofalowym – pierwszy przedział głębokości

Analizując stopień eliminacji mikroorganizmów, które były usytuowane w głębszej warstwie gleby (rys. 12) zaobserwowano większe zróżnicowanie wyników badań. Najlepsze efekty oddziaływania promieniowania mikrofalowego odnotowano w przypadku bakterii spoczynkowych, gdzie w przypadku pierwszej dawki promieniowania liczebność populacji po zabiegu wynosiła tylko 5,4% populacji wyjściowej.



Rys. 12. Struktura wielkości populacji mikroorganizmów po oddziaływaniu promieniowaniem mikrofalowym – drugi przedział głębokości

Podsumowanie

Odnotowano ilościowy wpływ dawki promieniowania mikrofalowego na strukturę mikroorganizmów glebowych pozwalających na selektywną ich eliminację. Zróżnicowanie dawki promieniowania w zależności od eliminowanego mikroorganizmu pozwala na optymalizację procesu pod względem jego energochłonności bez utraty efektywności procesu.

Autorzy: dr hab. inż. Paweł KIEŁBASA, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: Pawel.Kielbasa@urk.edu.pl, mgr inż. Krzysztof PIKUL, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: Krzysztof.Pikul@ur.krakow.pl, prof. dr hab. inż. Sławomir Kurpaska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, E-mail: rtkurpas@cyf-kr.edu.pl, dr inż. Marek OSTAFIN, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Mikrobiologii, E-mail: mostafin@ar.krakow.pl, dr inż. Mirosław Zagórda, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Miroslaw.Zagorda@urk.edu.pl

LITERATURA

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Walsh G.E., Bohannon P.M., Wessinger-Duval P.B. 1989: Microwave irradiation for rapid killing and fixing of plant tissue. Canadian-Journal-of-Botany. 67:4, 1272-1274;6.
- [4] Bogucki J. 1997: Zastosowanie mikrofal w rolnictwie. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, nr. 08, s.7-9.
- [5] Gawłowska A. 2003. Mikrofała w przemyśle spożywczym. Cukiernictwo i Piekarstwo, t.7, nr. 6. s.46-47.
- [6] Jakubowski, T. 2008. Wpływ napromieniowania mikrofalowego na dynamikę wzrostu kielków bulwy ziemniaka. Inżynieria Rolnicza, nr. 5(103), s. 7-13.
- [7] Jakubowski, T. 2015. Ocena wpływu przedsejnej mikrofalowej stymulacji nasion fasoli na proces ich kiełkowania. Inżynieria Rolnicza, nr. 2(154), s. 45-56.
- [8] Kielbasa P., Pikul K., Drózd T., Nawara P., Nęcka K., Oziębłowski M., Lis S., Tomasik M., Ostafin M. 2016. Wykorzystanie promieniowania mikrofalowego do selektywnej eliminacji flory w jej początkowym okresie rozwoju. Przegląd Elektrotechniczny, nr. 12, s. 65-69.
- [9] 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.
- [10] 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, p. 187-193.
- [11] Słowiński Krzysztof: 2013. 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, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego, 122 s.
- [12] Słowiński K. 2009: Urządzenie do mikrofalowej dezynfekcji gleby. Zeszyty Problemowe PNR z.543, s. 319-325.
- [13] Słowiński K. 2010: Dezynfekcja podłoża do produkcji sadzonek promieniowaniem mikrofalowym. Rozdział w monografii „Użytkowanie maszyn rolniczych i leśnych”. Prace Komisji Nauk Rolniczych, leśnych i Weterynaryjnych, PAU. Kraków, ISSN 1733-5183, s. 133-142.
- [14] Komarova, A. S. Likhacheva, A. A. i Zvyagintsev D. G., 2007. Influence of Microwave Radiation on Soil Bacteria, Department of Soil Biology, Faculty of Soil Science, Moscow State University, Moscow, 119991 Russia
- [15] Mavrogianopoulos, G.N., A. Frangoudakis and J. Pandalakis. 2000. Energy efficient soil disinfection by microwaves. Journal of Agricultural Engineering Research No. 75(2): s. 149-153.
- [16] Korenko, M., Bujna, M., Fölschová, D., Dostál, P., Kyselica, P. 2015. Risk analysis at work in manufacturing organization. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. Vol. 63, pp. 1493-1497.
- [17] Kielbasa P. 2010. Wpływ zanieczyszczenia elementów roboczych głębosza na parametry eksploatacyjne agregatu. Inżynieria Rolnicza, nr 4(122), s. 107-114.