

SKUTECZNOŚĆ ODDZIAŁYWANIA PROMIENIOWANIA UVC NA ROZWÓJ RIZOKTONIOZY BULW ZIEMNIAKA. CZĘŚĆ I – STANOWISKO DO BADAŃ

Tomasz Jakubowski, Paulina Wrona

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy zaprezentowano stanowisko do naświetlania bulw ziemniaka promieniami UVC. Stanowisko (komora) zostanie wykorzystane w badaniu skuteczności oddziaływania promieniowania UVC na rozwój rizoktoniozy bulw ziemniaka. We wnętrzu komory wykonano pomiary natężenia oświetlenia oraz temperatury i wilgotności względnej. Zmienność badanych parametrów kształtuje się od 2,2 do 12,1% w zależności od odległości promiennika od dna komory.

Słowa kluczowe: bulwa ziemniaka, ultrafiolet, rizoktonioza, przechowywanie

WPROWADZENIE

Prezentowana praca stanowi część doświadczenia dotyczącego badania wpływu promieniowania UVC na stopień porażenia przechowywanych bulw ziemniaka przez *Rhizoctonia solani* Kühn i swoją treścią obejmuje charakterystykę stanowiska (komory) do naświetlania materiału biologicznego.

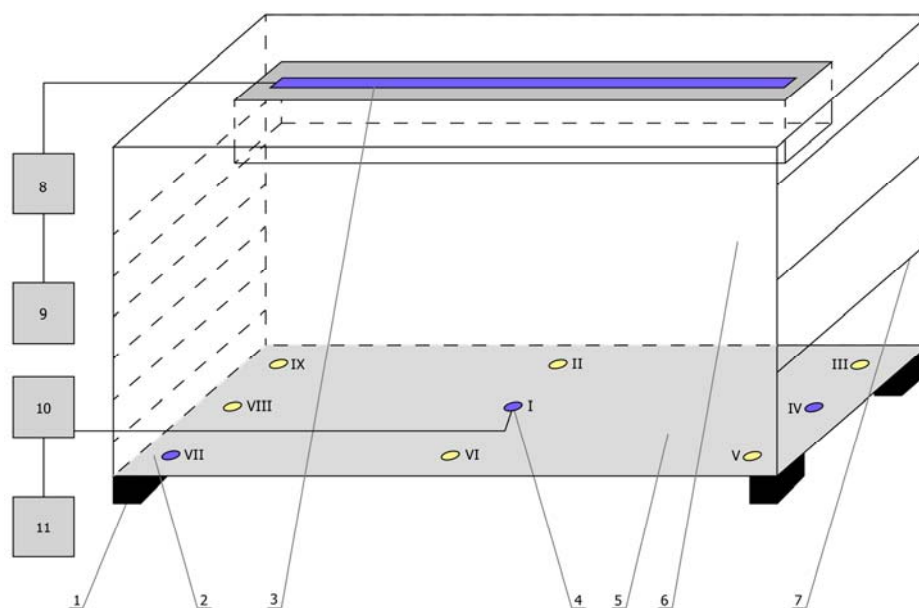
Ultrafiolet (UV) to fale o długości od 10 do 400 nm, co oznacza, że w widmie promieniowania elektromagnetycznego zajmują miejsce między światłem widzialnym a promieniowaniem rentgenowskim i w zasadzie w całości można je zaliczyć do niejonizującej formy promieniowania. Działanie promieni UV polega na pochłanianiu kwantów promieniowania (fotonów) przez funkcjonalnie ważne cząstki mikroorganizmów. Promienie UV absorbowane są przez DNA, RNA, białko, wolne zasady purynowe i pirymidynowe, działając w następstwie mutagennie i hamując podziały komórkowe naświetlanego organizmu. Światło UVC to promieniowanie elektromagnetyczne o długości fali od 100 do 280 nm. W spektroskopii promieniowanie o tej długości zalicza się do ultrafioletu dalekiego (długość fali od 122 do 200 nm) i pośredniego (długość fali od 200 do 300 nm). Promieniowanie UVC (o długości fali 253,7 nm) ma właściwości sterylizujące i dezynfekujące (szczególnie w odniesieniu do bakterii, wirusów i grzybów),

Adres do korespondencji – Corresponding author: Tomasz Jakubowski, Instytut Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Procesów Produkcyjnych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, tomasz.jakubowski@ur.krakow.pl

a jego działanie może prowadzić do uszkodzeń łańcuchów DNA [Kowalski 2009]. W dostępnej literaturze [Marks 2005a, 2005b, Marks i in. 2005, Marks i Jakubowski 2006, Jakubowski 2008, 2010] odnaleźć można informacje na temat pozytywnego (zmniejszającego stopień porażenia patogenami) wpływu pól elektrycznego i magnetycznego oraz promieniowania mikrofalowego na przechowywane bulwy ziemniaka. Dostępne wyniki badań oraz obecnie prowadzone prace w zakresie oddziaływania metod fizycznych na materiał biologiczny nie w pełni odpowiadają na wszystkie pytania dotyczące wpływu promieni UV na proces przechowywania bulw ziemniaka. Celem tej części pracy jest prezentacja i charakterystyka stanowiska do naświetlania bulw ziemniaka promieniowaniem UVC.

PREZENTACJA I CHARAKTERYSTYKA STANOWISKA DO BADAŃ

Stanowisko do badań (rys. 1) ma charakter prostopadłościowej komory o objętości $0,63 \text{ m}^3$ ($0,55 \times 0,95 \times 1,2$), wykonanej z drewna, której ściany od wewnątrz wyklejono aluminiową folią. Wyposażone jest w promiennik UVC *NBVI5* o mocy 15 W z precy-



Rys. 1. Stanowisko do naświetlania bulw ziemniaka promieniami UVC: 1 – podpory, 2 – dno komory, 3 – promiennik UVC, 4 – rozmieszczenie czujników (I–IX), 5 – usytuowanie bulw ziemniaka, 6 – wewnątrz komory, 7 – regulacja wysokości promiennika UVC, 8 – wyłącznik czasowy, 9 – źródło zasilania, 10 – multimetr, 11 – rejestrator danych

Fig. 1. Test stand to UVC exposure of potato tubers: 1 – props, 2 – bottom of the chamber, 3 – UVC radiator, 4 – placement of sensors (I–IX), 5 – location of potato tubers, 6 – inside the chamber, 7 – UVC radiator height adjustment, 8 – timer, 9 – power source, 10 – multimeter, 11 – data logger

zyjnym wyłącznikiem czasowym (*AURATON 100*). We wnętrzu komory, w której naświetlane będą bulwy ziemniaka, zamocowano sondę termohigrometru (*MODEL 445815*). Wysokość usytuowania promiennika UVC nad warstwą bulw ziemniaka jest regulowana w zakresie od 1,0 m do 0,4 m. Trwałość promiennika NBV15, stanowiąca o niezmiennosc parametrów jego działania, wynosi 8000 h (natężenie promieniowania UVC w odległości 1 m od promiennika wynosi $0,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$). Promiennik wyposażony jest w odbłyśnik wykonany z wysokogatunkowego aluminium o wysokim współczynniku odbicia (charakterystyka zbliżona do lustra). Bulwy ziemniaka w trakcie naświetlania usytuowane będą na płaskim, drewnianym dnie o powierzchni $0,52 \text{ m}^2$ ($0,55 \times 0,95$).

ZAKRES PRACY I METODA BADAŃ

Zakresem pracy objęto wykonanie następujących pomiarów wielkości fizycznych we wnętrzu komory (stanowiska do badań): natężenie oświetlenia (E_p) oraz temperatura (T) i wilgotność względna (RH). W przypadku pomiaru natężenia oświetlenia wykonano pomiary wstępne mające na celu określenie czasu potrzebnego do stabilnej pracy promiennika UVC. Czujniki (sondy) przyrządów pomiarowych usytuowane były na dnie komory, w dziewięciu jej punktach (I–IX) przy pomiarze natężenia oświetlenia z uwzględnieniem obowiązującej normy [PN-EN 12464-1:2004] oraz w trzech punktach (I, IV, VIII) przy pomiarach temperatury i wilgotności, według schematu pokazanego na rysunku 1. Błażej i in. [2011] w trakcie badań dotyczących uzyskania szczepu bakterii *Gluconacetobacter xylinus* o zwiększonej zdolności biotransformacji glicerolu do dihydroksyacetonu poprzez mutagenizację promieniowaniem UV stosowali odległość promiennika od próby 0,45 m. W prezentowanej w niniejszej pracy komorze pomiary wykonywano przy trzech położeniach promiennika UVC:

- w odległości 1 m od dna komory (maksymalna odległość promiennika od dna),
- w odległości 0,7 m od dna komory (średnia odległość promiennika od dna),
- w odległości 0,4 m od dna komory (minimalna odległość promiennika od dna).

Pomiar natężenia oświetlenia promiennika UVC przeprowadzano dopiero po ustabilizowaniu się parametrów jego pracy (wskazanie na wyświetlaczu zmieniło się o wartość nie większą niż $\pm 1 \text{ lx}$). W trakcie przeprowadzania pomiarów we wnętrzu komory, promiennik działał nieprzerwanie przez okres 3600 s, a odczytów wskazań czujników dokonywano co $t = 120 \text{ s}$. Przed wykonaniem badań (przed załączeniem promiennika UVC) określano temperaturę i wilgotność względną wnętrza komory. Do pomiaru natężenia oświetlenia wykorzystano luksomierz *LUXMETER L-50* wyposażony w głowicę fotometryczną, której uchwyt połączony był z miernikiem giętkim przewodem o długości 1 m. Wykorzystany w doświadczeniu luksomierz posiadał krzemowe fotodiody skorygowane widmowo do względnej skuteczności biologicznej widzenia fotopowego oraz kierunkowo do krzywej cosinus. Odpowiednie dopasowanie czułości spektralnej głowicy fotometrycznej do krzywej widzenia fotopowego gwarantuje prawidłowy pomiar natężenia oświetlenia niezależnie od charakteru promieniowania i nie wymaga stosowania współczynników korekcyjnych dla różnych źródeł światła [Bąk i in. 1994]. Obliczenia statystyczne wykonano przy założonym poziomie istotności $\alpha = 0,05$ z wykorzystaniem pakietu *STATISTICA 9.1*.

WYNIKI BADAŃ I ICH DISKUSJA

W trakcie wykonywania pomiarów (natężenia oświetlenia, temperatury i wilgotności) we wnętrzu komory stanowisko do badań usytuowane było w pomieszczeniu laboratorium, gdzie temperatura otoczenia wynosiła 17,1°C a wilgotność względna 54,4% (warunki we wnętrzu komory przed rozpoczęciem badań były tożsame z warunkami otoczenia).

Tabela 1. Statystyki podstawowe wyników pomiarów natężenia oświetlenia, lx
Table 1. Basic statistics for the measurement of light intensity, lx

Odległość promiennika od dna Distance from the bottom of the radiator	Wartość minimalna Minimum value	Wartość maksymalna Maximum value	Wartość średnia Average value	Wariancja Variance	Odchylenie standardowe Standard deviation	Zmienność Variability
1 m	80	91	84,1	10,6	3,3	3,9%
0,7 m	116	132	120,1	23,4	4,8	4,0%
0,4 m	135	152	140,7	23,5	4,8	3,4%

Tabela 2. Zmiana wartości natężenia oświetlenia (wyrażona w procentach) w stosunku do wyniku pomiaru w pt. nr I* w zależności od odległości promiennika od dna komory
Table 2. The change of light intensity (as a percentage) in relation to the measurement result in No. I * depending on the distance from the bottom of the radiator chamber

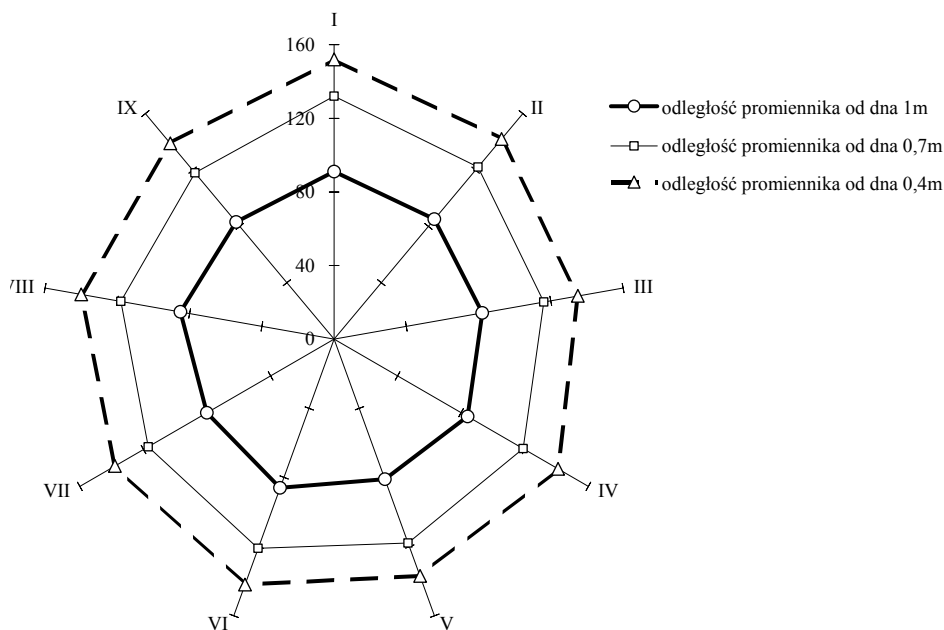
Odległość promiennika od dna Distance from the bottom of the radiator	Wartość średnia Average value	Oznaczenie punktu w którym wykonywano pomiar Marking the measurements point								
		I*	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
		Zmiana wartości natężenia oświetlenia – The change of light intensity, %								
1 m	91,6%		93,4	88,8	92,8	90,1	93,4	90,8	92,1	91,4
0,7 m	90,8%	100	92,8	89,1	92,3	89	94,5	87,9	91,4	89,6
0,4 m	89,9%		92,4	87,9	90,2	89,4	91,7	88,6	89,4	89,4

*punkt, w którym kąt między normalną do powierzchni dna a kierunkiem padania światła wynosi 0 – the point where the angle between the normal to the bottom surface and the direction of incidence is 0

Średnia wartość natężenia oświetlenia (tab. 1) we wnętrzu komory, wynikająca z działania promiennika UVC, zawierała się w przedziale między 84,1 a 140,7 lx i malała wraz ze wzrostem odległości promiennika od płaszczyzny na której usytuowano czujnik (głowicę fotometryczną luksomierza). Zmiana wartości natężenia oświetlenia (tab. 2) w poszczególnych punktach (II–IX) dna komory w stosunku do wyniku pomiaru w punkcie (I), w którym kąt między normalną do powierzchni dna a kierunkiem padania światła wynosi 0, wahała się w zakresie od 5,5 do 12,1% w zależności od odle-

głości promiennika od dna komory. Był to efekt spodziewany i wynikający z faktu, że natężenie oświetlenia jest ilorazem wartości strumienia świetlnego padającego na elementarną powierzchnię (zawierającą dany punkt) do wartości tej powierzchni, a przy założeniu punktowości źródła światła, natężenie oświetlenia (E_p [lx]) zależne jest od (1): światłość (I [cd]) w kierunku punktu, w którym badane jest natężenie oświetlenia, odległości (r [m]) od źródła do tego punktu, kąta (α) między normalną i kierunkiem padania światła oraz wysokości (h [m]) źródła tego światła nad rozważaną płaszczyzną [Bąk i in. 1994, Czyżewski i in. 2007]. Wartości natężenia oświetlenia w poszczególnych punktach dna komory stanowiska dla badanych odległości promiennika UVC zaprezentowano na rycinie 2.

$$E_p = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha \quad (1)$$



Rys. 2. Natężenie oświetlenia w poszczególnych punktach dna komory stanowiska
Fig. 2. The light intensity at different points in the bottom of the stand chamber

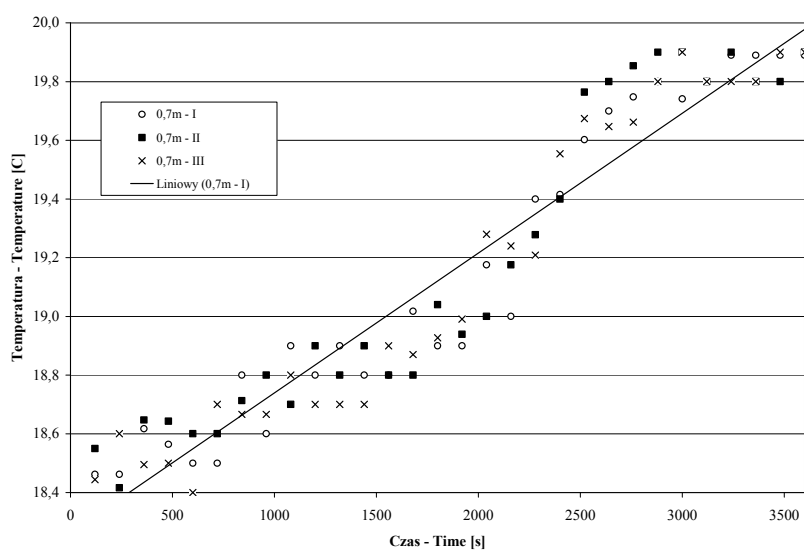
Z zestawienia w tabeli 3 wynika, że średnia zmienność temperatury (obliczona jako iloraz odchylenia standardowego i wartości średniej) pomierzonej we wnętrzu komory przy różnych usytuowaniach czujnika i wysokościach promiennika UVC wynosi 2,2%. Zmianę wartości temperatury (T) wnętrza komory (w trakcie kolejnych pomiarów) względem przyrostu czasu (t) w zależności od usytuowania czujnika (rys. 3) opisać można funkcją liniową postaci $T = 0,0005t + 18,263$ przy wartości współczynnika de-

terminacji 0,93. Zmiana ta charakteryzuje się taką zależnością, że wraz z przyrostem czasu działania promiennika UVC wzrasta wartość pomierzonej temperatury.

Tabela 3. Statystyki podstawowe wartości pomierzonej temperatury [°C] we wnętrzu komory w zależności od usytuowania czujnika i wysokości promiennika UVC

Table 3. Basic statistics of measured temperature [°C] inside the chamber, depending on the location of the sensor and the radiator UVC

Nr punktu pomiarowego i odległość promiennika od dna No. of measuring point and the distance from the bottom of the radiator	Wartość średnia Average value	Odchylenie standardowe Standard deviation	Wartość minimalna Minimum value	Wartość maksymalna Maximum value
1 m – I	18,7	0,4	18,1	19,5
0,7 m – I	19,1	0,4	18,5	19,9
0,4 m – I	19,1	0,4	18,5	19,9
1 m – II	18,7	0,4	18,1	19,4
0,7 m – II	19,1	0,4	18,5	19,9
0,4 m – II	19,1	0,4	18,3	19,9
1 m – III	18,7	0,5	17,9	19,4
0,7 m – III	19,0	0,4	18,4	19,8
0,4 m – III	19,1	0,5	18,3	19,9



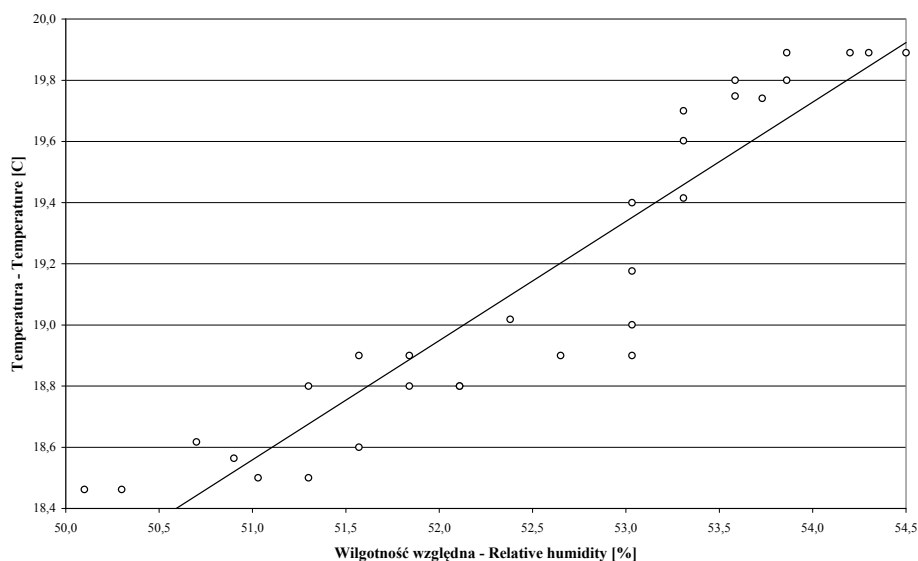
Rys. 3. Zmiana temperatury (T) wnętrza komory (w trakcie kolejnych pomiarów) względem przyrostu czasu (t) w zależności od usytuowania czujnika (wysokość promiennika UVC 0,7 m)

Fig. 3. The change of temperature (T) inside the chamber (during the successive measurements) the increment of time (t), depending on the location of the sensor (UVC radiator height 0.7 m)

Tabela 4. Statystyki podstawowe wartości pomierzonej wilgotności względnej [%] we wnętrzu komory w zależności od usytuowania czujnika i wysokości promiennika UVC

Table 4. Basic statistics of measured values of the relative humidity [%] in the chamber depending on the position sensor and the amount of UVC radiator

Nr punktu pomiarowego i odległość promiennika od dna No. measuring point and the distance from the bottom of the radiator	Wartość średnia Average value	Odchylenie standardowe Standard deviation	Wartość minimalna Minimum value	Wartość maksymalna Maximum value
1 m – I	52,7	1,6	51,1	54,3
0,7 m – I	52,4	1,6	50,9	53,9
0,4 m – I	52,3	1,9	50,2	54,4
1 m – II	52,3	2,0	50,2	54,4
0,7 m – II	52,3	2,1	50,1	54,5
0,4 m – II	52,2	2,1	50,2	54,3
1 m – III	51,5	1,6	50,0	53,0
0,7 m – III	51,5	1,6	50,0	53,1
0,4 m – III	52,6	1,7	51,1	54,2

Rys. 4. Zależność między przyrostem temperatury (T) a wartością wilgotności względnej (RH) we wnętrzu komory (punkt pomiarowy I, wysokość promiennika UVC 0,7 m)Fig. 4. The relationship between the increase in temperature (T) and relative humidity (RH) inside the chamber (measuring point I, UVC radiator height 0.7 m)

Z zestawienia w tabeli 4 wynika, że średnia zmienność wilgotności względnej (obliczona jako iloraz odchylenia standardowego i wartości średniej) pomierzonej we wnętrzu komory przy różnych usytuowaniach czujnika i wysokościach promiennika UVC nie przekracza 3,5%. Zależność między przyrostem temperatury (T) a wartością wilgotności względnej (RH) we wnętrzu komory (rys. 4) opisać funkcją liniową postaci $T = 0,3676RH - 0,1602$ przy wartości współczynnika determinacji 0,87. Zależność ta charakteryzuje się tym powiązaniem, że wraz ze wzrostem wartości temperatury maleje wartość wilgotności względnej. Taki stan rzeczy wynika zapewne ze zjawiska termodynamicznego, w którym wzrostowi temperatury bez zmiany zawartości pary wodnej towarzyszy obniżenie wilgotności względnej [Candido i in. 2007]. Ze względu na fakt, że nie wszystkie próby spełniały warunki rozkładu normalnego w obliczeniach statystycznych wykorzystano nieparametryczny test mediany oparty na wartościach statystyki chi-kwadrat. Nie stwierdzono istotnych różnic w przypadku wykonanych pomiarów temperatury i wilgotności względnej we wnętrzu komory bez względu na usytuowanie punktu pomiarowego i wysokość promiennika UVC. W przypadku wyników dotyczących pomiaru temperatury wartość statystyki chi-kwadrat wyniosła 5,88 ($p = 0,24$), a w przypadku pomiaru wilgotności względnej 4,21 ($p = 0,41$). Stwierdzono natomiast istotne różnice (chi-kwadrat = 7,18, $p = 0,04$) w wynikach dotyczących pomiaru natężenia oświetlenia w zależności od usytuowania głowicy fotometrycznej i wysokość promiennika UVC. W dalszej kolejności, stosując analizę wariancji Kruskala-Wallisa, wykonano wielokrotne porównania średnich rang dla pomiarów przy różnych wysokościach promiennika UVC nad dnem komory. W wyniku przeprowadzonego testu stwierdzono istotną różnicę jedynie między wynikami pomiarów natężenia oświetlenia przy wysokościach promiennika UVC 0,4 i 1 m nad dnem komory pomiarowej (wartość statystyki testu Kruskala-Wallisa $H = 9,71$ przy $p = 0,00$).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zaprezentowane w pracy stanowisko może zostać wykorzystane w badaniach dotyczących wpływu promieniowania UVC na stopień porażenia bulw ziemniaka przez *Rhizoctonia solani* Kühn. Możliwość stosowania różnych czasów naświetlania wraz z możliwością regulacji wysokości promiennika UVC nad dnem komory pozwoli na uzyskanie odpowiedzi nie tylko na temat samego wpływu promieniowania na bulwy ziemniaka, ale również, w przypadku pozytywnych wyników doświadczenia, pozwoli na ustalenie optymalnych parametrów pracy lampy UVC. Uzyskane w trakcie badań wyniki mogą także przyczynić się do pozyskania informacji niezbędnych dla modernizacji samego stanowiska pod kątem jego wykorzystania dla potrzeb stosowania metod fizycznych w rolnictwie. Zmienność badanych parametrów (temperatury i wilgotności względnej) pomierzonych we wnętrzu komory w trakcie działania promiennika UVC jest niewielka, gdyż wynosi odpowiednio 2,2 i 3,5%. Podkreślić należy, że wilgotność względna, w przypadku dłuższych czasów naświetlania ziemniaka, może mieć nieco inny przebieg ze względu na procesy życiowe bulwy (głównie oddychanie i transpiracja). Różnice w natężeniu oświetlenia w poszczególnych punktach dna komory wynosiły od 5,5 do 12,1% w zależności od odległości promiennika od dna komory. Informacja

powyższa, w przypadku uzyskania z badań zasadniczych (dotyczących wpływu promieniowania UVC na stopień porażenia bulw ziemniaka przez *Rhizoctonia solani* Kühn) niejednoznacznych lub trudnych do interpretacji wyników, może stanowić przesłankę do zainstalowania w komorze większej liczby promienników lub wykorzystania w badaniach lampy UVC o innym kształcie promiennika (w celu bardziej równomiernego oświetlenia dna komory).

PIŚMIENNICTWO

- Bąk J., Pabjańczyk W., 1994. Podstawy techniki świetlnej. Wyd. Polit. Łódzkiej.
- Błazejak S., Stasiak-Różańska L., Markowski K., Lipińska E., 2011. Zwiększenie zdolności biosyntezy dihydroksyacetonu przez bakterie *Gluconacetobacter xylinus* za pomocą mutagenizacji promieniowaniem UV. Acta Sci. Pol. Biotechnologia 10 (2), 17–24.
- Candido A., Cicirelli F., Furfaro A., Nigro L., 2007. Embedded real-time system for climate control in a complex greenhouse. Intern. Agrophysics 21, 17–27.
- Czyżewski D., Zalewski S., 2007. Laboratorium fotometrii i kolorymetrii. Wyd. OWPW. ISBN: 978-83-7207-648-9, 8–258.
- Jakubowski T., 2008. Wpływ napromieniowania mikrofalowego na wybrane wskaźniki oceny przechowalniczej bulw ziemniaka. Acta Agrophysica 162 (12(2)), 357–366.
- Jakubowski T., 2010. Wpływ promieniowania mikrofalowego na stopień porażenia przechowywanych bulw ziemniaka przez *Rhizoctonia solani* Kühn. Acta Agrophysica 16(1), 49–58.
- Kowalski W., 2009. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. Springer-Verlag. ISBN 978-3-642-01998-2, 38–90.
- Marks N., 2005a. Wpływ impulsowego pola elektrycznego na straty przechowalnicze bulw ziemniaka. Inżynieria Rolnicza, 10, 303–309.
- Marks N., 2005b. Wpływ zmiennego pola magnetycznego na straty przechowalnicze bulw ziemniaka. Inżynieria Rolnicza, 10, 295–302.
- Marks N., Jakubowski T., 2006. Wpływ promieniowania mikrofalowego na trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka. Inżynieria Rolnicza, 6 (81), 57–64.
- Marks N., Lipiec J., Jakubowski T., 2005. Ocena przydatności metod fizycznych do zwalczania przechowalniczych chorób bulw ziemniaka. Inż. Roln. 7(67), 169–175.
- Norma: PN-EN 12464-1:2004. Technika świetlna.

THE EFFECTIVENESS OF IMPACT UVC RADIATION ON THE DEVELOPMENT OF *Rhizoctonia solani*. PART I – TEST STAND

Abstract. The paper presents the test stand to the exposure of potato tubers UVC rays. Test stand (chamber) will be used in the study of the effectiveness of UVC radiation impact on the development of *Rhizoctonia solani*. Inside the chamber was measured: light intensity, temperature and relative humidity. Variability of the parameters ranges from 2.2 to 12.1% depending on the distance from the bottom of the heater chamber.

Key words: potato tuber, ultraviolet, *Rhizoctonia solani*, storage

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.06.2012