

USTALANIE DAWEK ENERGII PROMIENIOWANIA LASEROWEGO W PROCESIE BIOSTYMULACJI NASION

B. Gładyszewska, R. Koper

Katedra Fizyki AR, ul. Akademicka 13, 20-033 Lublin
e-mail: broz@ursus.ar.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę wyznaczania energii promieniowania laserowego, jaka jest dostarczana na powierzchnię nasion w trakcie biostymulacji laserowej przy wykorzystaniu metody nastawnych dawek energii. W tym celu określono najpierw gęstość powierzchniową dostarczanej energii. Zależy ona od prędkości przesuwu nasion po rynience zsykowej, od kąta jej nachylenia oraz od amplitudy drgań urządzenia wibrującego. Następnie wyznaczono powierzchnię czynną nasion. W tym celu zastosowano program komputerowy Planimetr, który w oparciu o różnicę stopnia jasności powierzchni nasiona i tła automatycznie ją określa. Efektem końcowym jest prosta zależność określająca ilość energii promieniowania laserowego dostarczanej nasionom w funkcji podstawowych parametrów technologicznych procesu ich biostymulacji.

Słowa kluczowe: biostymulacja, energia i moc promieniowania laserowego.

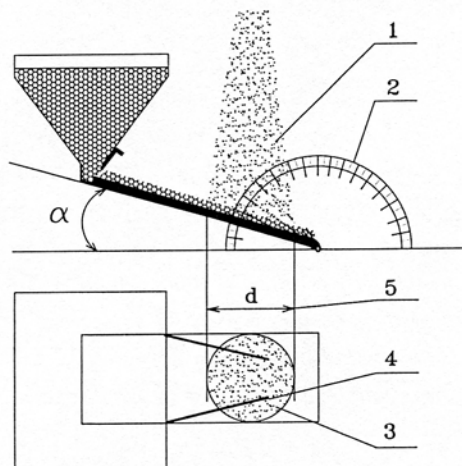
WSTĘP I CEL

Przedsięwzięcie laserowa biostymulacja nasion roślin uprawnych wzbudza duże zainteresowanie z uwagi na znaczne przyspieszenie kiełkowania nasion oraz ze względu na pozytywne efekty w plonowaniu [1, 2, 3, 6]. Metoda biostymulacji laserowej wykorzystuje zjawisko fizyczne polegające na zdolności pochłaniania i magazynowania energii świetlnej przez komórki i tkanki roślinne. Taką zdolność posiadają także nasiona, które pochłaniają energię świetlną, przekształcają w energię chemiczną, magazynują ją i wykorzystują w późniejszym wzroście. Dostarczenie energii zwiększa więc potencjał energetyczny nasion, wpływając pozytywnie na

intensywność procesów fizjologicznych zachodzących w kiełkujących nasionach. Badania prowadzone w Katedrze Fizyki Akademii Rolniczej w Lublinie pozwoliły na opracowanie technologii dokonywania biostymulacji laserowej metodą dawek nastawnych [5]. Celem niniejszej pracy było opracowanie metody określania energii promieniowania laserowego, dostarczanej na powierzchnię nasion w procesie przedsięwziętej laserowej biostymulacji nasion pomidorów.

METODA

Metoda nastawnych dawek energii polega na naświetlaniu nasion wiązką rozbieżną lasera helowo-neonowego w trakcie ich przesuwania się wzdłuż rynienki zsyypowej, pobudzonej do drgań za pośrednictwem urządzenia wibrującego o ustalonej częstotliwości drgań (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do wyznaczenia prędkości nasion oraz energii padającej wiązki laserowej: 1 – rozbieżna wiązka laserowa, 2 – kątomierz, 3 – droga nasion naświetlanych podczas biostymulacji za pomocą wiązki promieniowania laserowego, 4 – prowadnice naświetlanych nasion, 5 – średnica wiązki promieniowania laserowego, α – kąt nachylenia rynienki.

Fig. 1. Set-up used to determine seeds speed and laser beam energy: 1-divergent laser beam, 2-angle gauge, 3- region where seeds are biostimulated with a laser beam, 4- seeds guide, 5- laser beam diameter, α -inclination angle of a trough.

Aby wyznaczyć energię promieniowania laserowego, jaka jest dostarczana na powierzchnię nasion, posłużono się przedstawioną poniżej procedurą [2].

Różniczkowa gęstość energii dE otrzymywanej przez nasiona w czasie dt , wyraża się wzorem:

$$dE = P(x) dt \quad (1)$$

gdzie: $P(x)$ jest rozkładem gęstości mocy promieniowania laserowego na poziomie rynienki zsykowej.

Ponieważ przesuw nasion następuje ruchem jednostajnym z prędkością $v=dx/dt$, to równanie (1) możemy zapisać:

$$dE = P(x) \cdot \frac{dx}{v} \quad (2)$$

gdzie: dx jest przyrostem drogi, a v stałą prędkością przesuwu nasion wzdłuż drgającej rynienki. Gęstość powierzchniowa dostarczanej energii E wyraża się więc następująco:

$$E = \int_{x_0}^{x_k} P(x) \cdot \frac{dx}{v} = \frac{1}{v} \int_{x_0}^{x_k} P(x) \cdot dx \quad \left[\frac{mJ}{cm^2} \right] \quad (3)$$

gdzie: x_0 i x_k są współrzędnymi odpowiadającymi początkowi i końcowi drogi przesuwających się nasion przez obszar oświetlony promieniowaniem laserowym. Aby wyznaczyć energię promieniowania ε , dostarczaną nasionom należy uwzględnić także ich powierzchnię czynną S . Wtedy:

$$\varepsilon = E \cdot S \quad (4)$$

zaś po podstawieniu równania (3) do (4):

$$\varepsilon = S \cdot \frac{1}{v} \int_{x_0}^{x_k} P(x) \cdot dx \quad [mJ] \quad (5)$$

Całkę występującą w równaniu (5) możemy wyznaczyć na dwa sposoby, albo bezpośrednio z danych eksperymentalnych:

$$\int_{x_0}^{x_k} P(x) \cdot dx \approx \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Delta x = \Delta x \cdot \sum_{i=1}^n P_i \quad (6)$$

gdzie: P_i jest gęstością mocy promieniowania laserowego, mierzoną dla różnych położen x na poziomie rynienki zsykowej, a Δx jest elementarnym przemiesz-

zeniem nasion, bądź też wpisując w dane eksperymentalne funkcję rozkładu Gaussa. Wtedy:

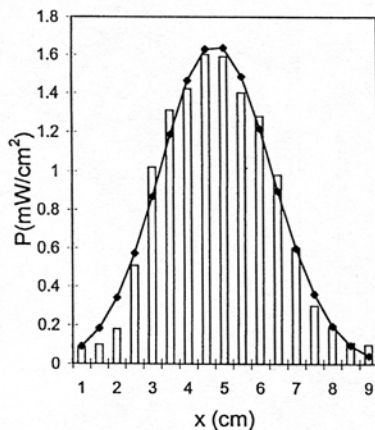
$$\int_{x_0}^{x_k} P(x) \cdot dx \approx \int_{-\infty}^{+\infty} P_{\max} \cdot e^{-\frac{(x-x_{sr})^2}{2 \cdot \sigma^2}} \cdot dx = P_{\max} \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi} \quad (7)$$

gdzie: P_{\max} jest wartością maksymalną gęstości mocy, zaś σ jest standardowym odchyleniem, charakterystycznym dla danego rozkładu gęstości mocy. W tym drugim przypadku, konieczne staje się założenie, że rozkład powierzchniowej gęstości mocy $P(x)$ ma charakter gaussowski. Rysunek 2 wskazuje, że w przypadku zastosowanego układu optycznego, rozkład $P(x)$ może być dobrze opisany funkcją rozkładu Gaussa, gdy do oświetlenia rynienki zsykowej użyjemy wiązki jednego lasera. Energia ε wyraża się wtedy prostym wzorem:

$$\varepsilon = S \cdot \frac{\sqrt{2\pi}}{v} \cdot \sigma \cdot P_{\max} \quad (8)$$

Podobny efekt uzyskamy stosując dwie wiązki laserowe, centralnie oświetlające rynienkę zsykową. Także i w tym przypadku, jak pokazuje to Rys. 2 przybliżenie rozkładu $P(x)$ funkcją gaussowską jest uzasadnione. Jednakże, aby wszystkie nasiona uzyskały zbliżoną dawkę promieniowania laserowego, muszą one przesuwać się blisko centralnej części oświetlonego obszaru, tak jak zaznaczono to na Rys. 1, a także na konturowym wykresie rozkładu gęstości mocy na Rys. 3a. Obszar ten można poszerzyć stosując offsetowe ustawienie wiązek laserowych. Sytuację taką obrazuje Rys. 3b. Poszerzenie obszaru o zbliżonym poziomie gęstości mocy promieniowania jest wtedy znaczne. Niestety opis funkcji $P(x)$ staje się bardziej skomplikowany, zależny od aktualnego ustawienia laserów. Pojawiają się także wyraźne niejednorodności rozkładu gęstości mocy, szczególnie dobrze widoczne na konturowym wykresie przykładowo pokazanym na Rys. 3b. Z tych względów zdecydowano się na centralne ustawienie wiązek laserowych we wszystkich procesach naświetlania, jakie wykonano w ramach tej pracy. Równanie (8) pokazuje, że dla danego rodzaju nasion (o średniej powierzchni czynnej S) dostarczana energia promieniowania laserowego ε może być dowolnie ustalana przez wybór prędkości v przesuwu nasion po rynience zsykowej. Zmieniając kąt nachylenia rynienki α (Rys. 1.), bądź amplitudę drgań urządzenia wibrującego, możemy zmieniać prędkość przesuujących się nasion

w stosunkowo szerokim zakresie. Zmianę amplitudy drgań uzyskuje się przez zmianę napięcia zasilającego. Użyteczne zakresy kątów nachylenia oraz napięcia zawierały się odpowiednio w przedziałach od 6° do 18° i od 200 V do 230 V. Dobierając kąt α oraz napięcie U można uzyskać prędkości przesuwu nasion w zakresie od około 0,2 do 1,2 cm/s.

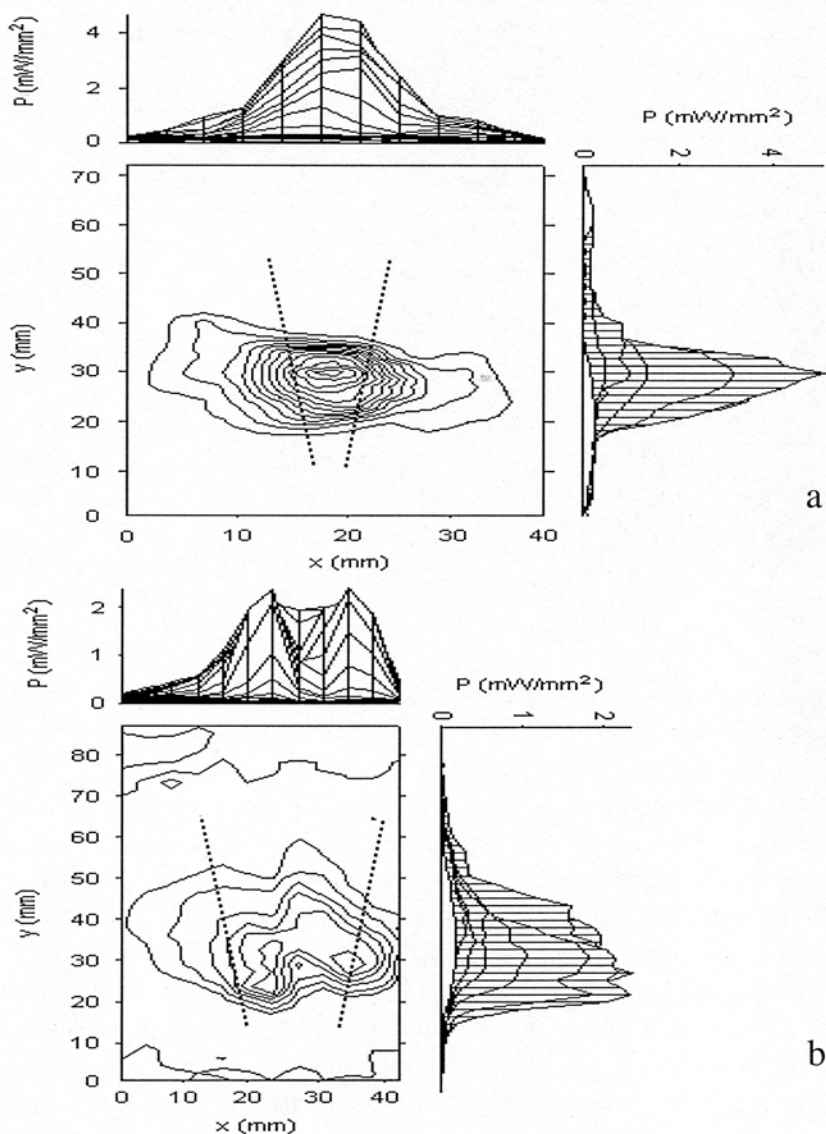


Rys. 2. Rozkład powierzchniowej gęstości mocy promieniowania laserowego wraz z wpisaną funkcją Gaussa o parametrach: $\sigma = 1,56$ cm, $x_{sr} = 4,77$ cm, $P_{max} = 1,65$ mW/cm².

Fig. 2. Distribution of the surface power density of a laser radiation fitted with a Gaussian function ($\sigma = 1,56$ cm, $x_{sr} = 4,77$ cm, $P_{max} = 1,65$ mW/cm²).

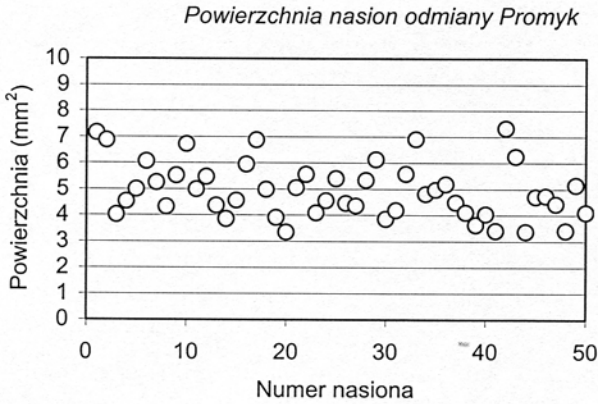
Następnie określono powierzchnię czynną nasion. Pomiaru dokonywano przy użyciu układu składającego się ze stolika mikroskopowego oraz kamery połączonej z komputerem osobistym poprzez kartę interfejsu AV. Nasiona były umieszczane na stoliku mikroskopowym, zaś uzyskany, powiększony (powiększenie liniowe 50x) obraz nasion był zapamiętywany w pamięci komputera. Aby wyznaczyć powierzchnię czynną stosowano program komputerowy Planimetr [4], który bazując na wyraźnej różnicy stopnia jasności powierzchni nasiona i tła automatycznie określał powierzchnię czynną S.

Obliczając dawkę energii ze wzoru (5) stosujemy wartość średnią powierzchni czynnej nasion. Powierzchnie określone dla pięćdziesięciu nasion odmiany Promyk przedstawione są na Rys. 4. Średnia powierzchnia czynna nasion wynosi ok. 5 mm², a rozrzut statystyczny powierzchni nasion, określony odchyleniem standardowym $\sigma = 1,05$ mm².



Rys. 3. Rozkład gęstości mocy promieniowania laserowego dla centralnego (a) i offsetowego (b) ustawienia wiązek. Linie przerywane wyznaczają obszar przesuwania się nasion.

Fig. 3. Power density distribution of a laser beam for a central (a) and offset (b) beam superposition. Broken lines determine a region of the seeds movement.



Rys. 4. Powierzchnie czynne nasion pomidorów gruntowych odmiany Promyk. Powierzchnia średnia $S_{sr} = 4,95 \text{ mm}^2$, zaś standardowe odchylenie od wartości średniej $\sigma = 1,05 \text{ mm}^2$.

Fig. 4. Active surface of the „Promyk” tomato seeds. The average surface $S_{sr} = 4.95 \text{ mm}^2$, while a standard deviation from the average $\sigma = 1.05 \text{ mm}^2$.

DOKŁADNOŚĆ POMIARÓW

Dokładność określenia dawki promieniowania laserowego, jaka przekazywana jest nasionom w trakcie procesu biostymulacji można oszacować na podstawie równania (9). Błąd maksymalny względny określania dawki obliczamy jako:

$$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} = \left| \frac{\Delta S}{S} \right| + \left| \frac{\Delta v}{v} \right| + \left| \frac{\Delta P_{\max}}{P_{\max}} \right| + \left| \frac{\Delta \sigma}{\sigma} \right| \quad (9)$$

Obliczenia prowadzą do określenia maksymalnego względnego błędu dawki $\Delta \varepsilon / \varepsilon = 48,3\%$. Należy podkreślić, iż prowadząc badania nie mamy wpływu na poziom głównego składnika błędu wynoszącego $\Delta S/S = 40\%$. Decyduje bowiem o nim gatunek i odmiana nasion. Pozostałe składniki błędu maksymalnego względnego wnoszą do niego niewielki wkład, sięgający zaledwie 8,3%. Biorąc pod uwagę warunki eksperymentalne należy uznać, iż jest to błąd trudny do dalszego zminimalizowania. Ponadto, w świetle wspomnianego wyżej błędu określania powierzchni czynnej sięgającego 40%, wątpliwy wydaje się sens takich starań, w każdym razie dla badanego w tej pracy materiału nasiennego.

Znając względny błąd maksymalny określania dawki, można obliczyć bezwzględny błąd maksymalny, mnożąc uzyskaną wartość przez zastosowaną dawkę ε . Prowadzi to do wyznaczenia wartości maksymalnego błędu bezwzględnego $\Delta\varepsilon = 2,17$ mJ dla dawki $\varepsilon = 4,5$ mJ.

PODSUMOWANIE

Zakładając, że dawka energii powinna być przeliczana na jednostkę powierzchni nasiona, wpływ wspomnianego rozrzutu statystycznego powierzchni nasion byłby nieistotny. Taki sposób określania dawki (na jednostkę powierzchni) stosuje się często w fizyce jądrowej, charakteryzując np. proces implantacji jonów przez podanie dawki, jako liczby jonów na cm^2 . Biostymulowane nasiona nie są jednak jednorodnymi „tarczami”, jak np. w przypadku implantowanych monokryształów krzemu. Są odrębnymi organizmami, posiadającymi skomplikowaną, niejednorodną budowę i uznanie, iż dawka powinna być wyrażana w jednostkach energii na nasiono wydaje się w pełni uzasadnione.

PIŚMIENNICTWO

1. **Drozd D., Szajsner H., Koper R.:** Wpływ przedsewnego naświetlania laserem nasion pszenicy jarej na zdolność kiełkowania i długość koleoptyla. *Fragmenta Agronomika XIII*, 1/49, 44-51, 1996.
2. **Gładyszewska B., Koper R., Kornarzyński K.:** Technologia i efekty przedsewnej laserowej biostymulacji nasion ogórków. *Inżynieria Rolnicza*, 1/444, 213 – 219, 1998.
3. **Gładyszewska B.:** Ocena wpływu przedsewnej laserowej biostymulacji nasion pomidorów na proces ich kiełkowania. *Rozprawa doktorska, Wydział Techniki Rolniczej AR w Lublinie*, 1998.
4. **Gowin J.:** Program komputerowy „Planimetr”, *Katedra Fizyki, Akademia Rolnicza w Lublinie*, 1998.
5. **Koper R.:** Urządzenie do przedsewnej laserowej biostymulacji nasion metodą ich naświetlania nastawnymi dawkami energii. *Patent RP nr. 1653180*, 1993.
6. **Koper R.:** Pre-sowing laser biostimulation of seeds of agricultural plants and its results in agrotechnics. *Int. Agrophysics* 8, 593 –596, 1994.

DETERMINATION OF A LASER RADIATION ENERGY DOSE
IN THE SEED BIOSTIMULATION PROCESS

B. Gładyszewska, R. Koper

Department of Physics, University of Agriculture, Akademicka 13, 20-033 Lublin
e-mail:broz@ursus.ar.lublin.pl

Summary. The method allowing determination of a radiation energy dose used in the laser biostimulation process of seeds is presented. First, the energy density for a seed surface is determined. It depends on a seed speed and on amplitude of vibrations of the system. Then an average seed surface is calculated by the use of the Planimetr program. The program determines the seed surface basing on differences in the brightness of a seed and background layer. Finally, a simple dependence allowing determination of the laser radiation energy dose as a function of basic technological parameters is obtained.

Key words: biostimulation, energy and power of laser beam.