

STRESZCZENIE

Rolnictwo odgrywa kluczową rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa żywnościowego, a równocześnie musi ograniczać stosowanie środków ochrony roślin ze względów środowiskowych i zdrowotnych. Regulacje wprowadzane przez Unię Europejską nakładają obowiązek redukcji użycia środków ochrony roślin, stanowi to istotne wyzwanie technologiczne i ekonomiczne dla rolników. Analiza stanu wiedzy wykazała brak rozwiązań opryskowych, które łączyłyby jednocześnie aktywne pozycjonowanie zespołu rozpylającego względem roślin lub chwastów, regulację charakterystyki strumienia poprzez automatyczną zmianę rozpylacza, zmianę kąta oprysku oraz punktową aplikację w międzyrzędziach wykonywaną w trakcie jednego przejazdu. Celem rozprawy doktorskiej było opracowanie i zbadanie mechatronicznego zespołu rozpylającego o zmiennej charakterystyce oprysku, który wypełnia tę lukę, umożliwiając dostosowanie parametrów do warunków polowych, zwiększenie równomierności pokrycia roślin oraz redukcję zużycia środków ochrony roślin w porównaniu z metodami standardowymi. Problemem naukowym dysertacji jest relacja między postacią konstrukcyjną i funkcjonalnością mechatronicznego zespołu rozpylającego o zmiennej charakterystyce oprysku, a jego cechami użytkowymi. W ramach pracy doktorskiej zaprojektowano, skonstruowano i przebadano model badawczy ruchomego zespołu rozpylającego wyposażonego w układ sterowania oraz zintegrowany system wizyjny oparty na sztucznej inteligencji. Zespół rozpylający mógł być odchylany i obracany, co umożliwiało kształtowanie zasięgu oprysku oraz wykonywanie oprysku pasowego wzdłuż rzędów upraw, jak również punktowej aplikacji w międzyrzędziach. Przeprowadzone badania potwierdziły skuteczność proponowanego rozwiązania. W warunkach laboratoryjnych zwiększanie kąta nachylenia zespołu rozpylającego poszerzało pas oprysku i ograniczało miejscowe nadmierne dawki cieczy, natomiast jej skręcanie poprawiało symetrię i równomierność rozkładu. Modyfikacja geometrii strumienia pozwalała zatem aktywnie kształtować jednorodność oprysku. W testach polowych zmiana orientacji zespołu rozpylającego przełożyła się na bardziej równomierne pokrycie roślin niż w przypadku tradycyjnej belki ze stałymi rozpylaczami. Konwencjonalny opryskiwacz przy prędkości 0.5 m s^{-1} powodował duże zróżnicowanie pokrycia liści, różnice między najslabiej a najmocniej opryskanymi obszarami sięgały 35–45%. Z kolei mechatroniczny zespół rozpylający z rozpylaczem pochylony pod kątem około 40° zapewnił znacznie bardziej jednorodne naniesienie cieczy – zakres pokrycia był węższy, a różnice między wartościami minimalnymi i maksymalnymi wyraźnie mniejsze. Analiza ilościowa potwierdziła, że inteligentny zespół rozpylający umożliwia ograniczenie zużycia środka przy zachowaniu wysokiej jednorodności pokrycia.

SUMMARY

Agriculture plays a key role in ensuring food security while simultaneously having to limit the use of plant protection products for environmental and health reasons. Regulations introduced by the European Union impose an obligation to reduce the use of plant protection products, which poses a significant technological and economic challenge for farmers. The analysis of the state of the art revealed a lack of spraying solutions that would simultaneously combine active positioning of the spraying unit relative to crops or weeds, adjustment of the jet characteristics through automatic nozzle change, modification of the spray angle, and spot application in inter-row spaces carried out during a single pass. The aim of the doctoral dissertation was to develop and investigate a mechatronic spraying unit with variable spray characteristics that fills this gap by enabling parameter adaptation to field conditions, increasing the uniformity of plant coverage, and reducing the consumption of plant protection products compared to standard methods. The scientific problem of the dissertation concerns the relationship between the design and functionality of the mechatronic spraying unit with variable spray characteristics and its user-oriented performance features. As part of the doctoral work, a research prototype of a movable spraying unit equipped with a control system and an integrated artificial-intelligence-based vision system was designed, built, and tested. The spraying unit could be tilted and rotated, which made it possible to shape the spray reach and to perform band spraying along crop rows as well as spot application in the inter-rows. The conducted studies confirmed the effectiveness of the proposed solution. Under laboratory conditions, increasing the inclination angle of the spraying unit widened the spray band and limited local overdosing of liquid, whereas yawing it improved the symmetry and uniformity of the distribution. Modifying the jet geometry thus allowed active shaping of spray homogeneity. In field tests, changing the orientation of the spraying unit translated into more uniform plant coverage than in the case of a traditional boom with fixed nozzles. A conventional sprayer at a speed of 0.5 m s^{-1} caused large variability in leaf coverage, with differences between the least and most treated areas reaching 35–45%. By contrast, the mechatronic spraying unit with the nozzle inclined at about 40° ensured a much more uniform liquid deposition—the coverage range was narrower, and the differences between minimum and maximum values were markedly smaller. Quantitative analysis confirmed that the intelligent spraying unit makes it possible to reduce agent consumption while maintaining high coverage uniformity.