

## PRZEGLĄD SYSTEMÓW STABILIZACJI BELEK POLOWYCH OPRYSKIWACZY

Adam Józef Lipiński, Szczepan Michał Sobotka

*Katedra Maszyn Roboczych i Procesów Separacji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

Seweryn Lipiński

*Katedra Elektrotechniki i Energetyki, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

**Streszczenie.** Celem pracy było przedstawienie systemów stabilizacji belki polowej opryskiwaczy polowych oraz problemów i wyzwań, które stoją przed projektującymi takie systemy. Wskazano kierunek prac, które teoretycznie dają największe możliwości poprawy obecnie stosowanych układów stabilizacji belek polowych opryskiwaczy. Wykazano celowość prowadzenia prac nad nowymi układami stabilizacji belek polowych opryskiwaczy oraz działań optymalizujących obecnie znane rozwiązania.

**Słowa kluczowe:** opryskiwacz polowy, jakość oprysku, stabilizacja belki polowej

### Wstęp

Odpowiednie pokrycie powierzchni opryskiwanych roślin środkami ochrony zależy m.in. od prawidłowego prowadzenia belki polowej. Położenie belki powinno być niezmiennie równoległe do powierzchni ziemi i zachowywać określoną odległość od opryskiwanych roślin - niezmienną na całej szerokości belki. Ponadto podczas zabiegu belka powinna zachowywać położenie prostopadłe do kierunku jazdy. Niemniej belka polowa każdego opryskiwacza w warunkach pracy polowej ulega wahaniom (podstawowym czynnikiem sprawczym jest tu nierówne podłoże), a jej końce mogą uzyskiwać duże przyspieszenia. Zmiany położenia belki (wysokości oraz kąta odchyłu od położenia równoległego do podłoża) mają istotny wpływ na stopień i sposób pokrycia opryskiwanych powierzchni. Pionowe oraz poziome wychylenia belki opryskiwacza zwykle są spowodowane przechyleniami agregatu spowodowanymi najechaniem na przeszkodę (nierówności pola). Częstość i amplituda wychylenia belki zależy od ilości i wielkości tych przeszkód oraz prędkości jazdy agregatu. Pionowe wychylenia belki powodują zmiany odległości rozpylacza od opryskiwanej powierzchni. Stwierdzono że niestabilna praca belki polowej opryskiwacza (zarówno w płaszczyźnie poziomej jak i pionowej) powoduje nierównomierność oprysku, włącznie z całkowitym pominięciem niektórych fragmentów opryskiwanej powierzchni. Zjawiska te najmocniej manifestują się w skrajnych sekcjach belki, a zatem problem ten dotyczy przede wszystkim opryskiwaczy o dużych szerokościach belki polowej [Clijmans i in. 2000, Jeon i in. 2004a, Langenakens i in. 1999, Lardoux i in. 2007a, Popławski i Szulc 2010, Ramon i in. 1997, Szewczyk 2010].

W celu ograniczenia (w przypadku idealnym wyeliminowania) niepożądanych zmian położenia belki polowej podczas wykonywania oprysku, w nowoczesnych konstrukcjach opryskiwaczy montowane są systemy stabilizacji, których zadaniem jest utrzymywanie stałego położenia belki polowej nad opryskiwanymi roślinami - niezależnie od zmiennych warunków oprysku, w szczególności od podłoża.

## **Cel pracy**

Celem pracy jest próba przedstawienia systemów stabilizacji belki polowej opryskiwaczy polowych oraz problemów konstrukcyjnych, z jakimi musi mierzyć się projektujący takie systemy. Praca ma uzasadnić celowość prowadzenia prac nad nowymi układami stabilizacji belek polowych opryskiwaczy lub optymalizacją znanych obecnie rozwiązań oraz wskazać kierunek prac, które teoretycznie dają największe możliwości ulepszenia obecnie stosowanych układów stabilizacji belek polowych opryskiwaczy.

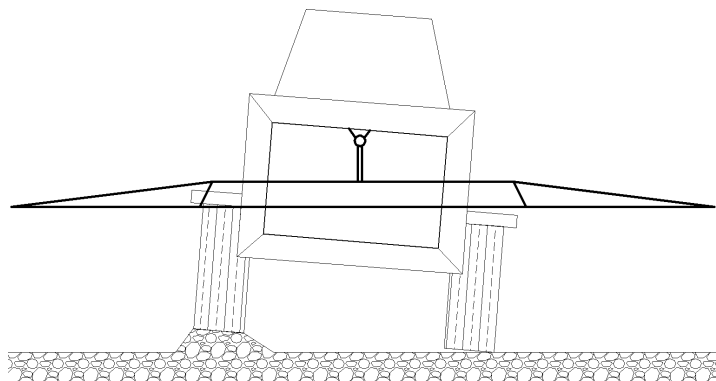
### **Systemy stabilizacji belki polowej opryskiwaczy**

Systemy stabilizacji belek polowych, nazywane również układami stabilizacji, mają zasadniczo jeden cel: utrzymywać równoległe położenie belki polowej do płaszczyzny pola (roślin), a w przypadku zmian jej położenia - w płaszczyźnie pionowej i/lub poziomej, możliwie szybko przywrócić właściwe ustawienie belki. Stabilizacja belki może być bierna lub czynna. W pierwszym przypadku stabilizacja belki względem powierzchni opryskiwanej dokonuje się samoczynnie, w drugim zaś jest wymuszana. Istnieje też możliwość korygowania położenia belki automatycznie lub ręcznie - przez operatora.

W rozwiązaniach układów stabilizacji wyróżnia się dwa podstawowe układy zawieszenia belki: wahadłowy i trapezowy [Anthonis i in. 2005, Deprez i in. 2003, Hołownicki 2006, Popławski i Szulc 2010] – podstawową ideę działania obu systemów pokazano na rys. 1 i 2. Spotykane są również rozwiązania, które łączą w sobie cechy stabilizacji wahadłowej i trapezowej; wśród tych układów można wyróżnić m.in. zawieszenie kablowe [Deprez i in. 2002a, Deprez i in. 2003], wahadłowe podwójne [Anthonis i in. 2005] i trapezowe podwójne [Kennes i in. 1999]. Stabilne oraz kontrolowane prowadzenie belki w każdym z systemów może być wspomagane szeregiem pomocniczych elementów takich jak: różnego rodzaju czujniki, sprężyny, siłowniki hydrauliczne lub amortyzatory.

Stabilizacja z układem wahadłowym zawieszenia jest jednym z najprostszych rozwiązań stosowanych w opryskiwaczach (rys. 1). Belka polowa ma w tym układzie jeden punkt zawieszenia umiejscowiony w geometrycznym środku belki polowej. Powrót do stanu równowagi następuje samoczynnie pod wpływem siły grawitacji.

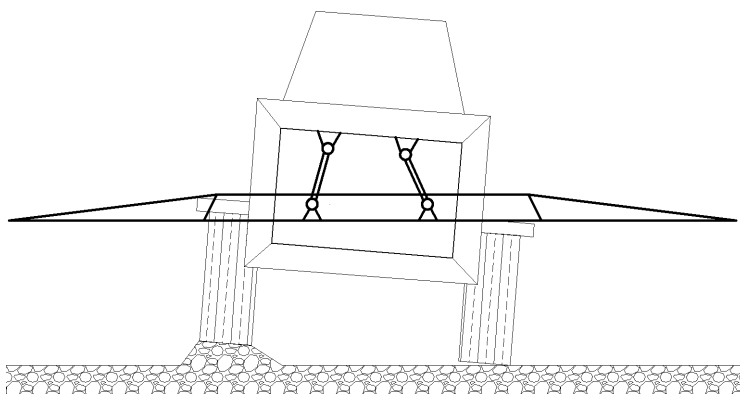
Oczywistym jest, że pokazany wyżej układ podstawowy jest rozwiązaniem dalekim od idealnego, szczególnie ze względu na możliwość "rozhuśnięcia" belki. Podstawowy układ wahadłowego zawieszenia belki jest w związku z tym zawsze wspomagany przez: tłumiki, amortyzatory, sprężyny stabilizujące (systemy bierne) lub bardziej zaawansowane układy wyposażone w siłowniki korekcyjne (systemy czynne). Elementy te mają za zadanie korygować zarówno odchylenia belki w pionie jak i w poziomie. Poszczególne układy stabilizacji wahadłowej różnią się od siebie miejscem, ilością oraz sposobem montowania różnego typu elementów wspomagających.



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 1. Podstawowa idea działania układu stabilizacji wahadłowej  
Fig. 1. The basic idea of operation of a shuttle stabilization system

Zawieszenie wahadłowe belki na dwóch cięgłach o czterech przegubach nazywane jest układem trapezowym (rys. 2). Powrót do stanu równowagi, podobnie jak w układzie stabilizacji wahadłowej, następuje samoczynnie pod wpływem siły grawitacji. Występuje prawidłowość, że w dłuższych (cięższych) belkach stosowane są prostsze układy stabilizacji - wahadłowe, zaś w krótszych - trapezowe układy stabilizacji [Hołownicki 2006].



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 2. Podstawowa idea działania układu stabilizacji trapezowej  
Fig. 2. The basic idea of operation of a trapezoidal stabilization system

Podstawową zaletą układu trapezowego są mniejsze częstotliwości wahań belki, co oczywiście skutkuje jej stabilniejszym prowadzeniem i ułatwia projektowanie układów wspomagających stabilizację. W układzie stabilizacji tego typu możliwe są modyfikacje z zastosowaniem trapezu odwróconego. W przypadku, gdy układ jest rozwarty do dołu opryskiwacz może pracować na terenie poziomym, gdy zaś jest odwrotnie, to na terenie pochyłym [Szulc 2011].

Czynne prowadzenie belki z wykorzystaniem sterowanych elektronicznie układów hydraulicznych lub pneumatycznych może odbywać się dzięki czujnikom ultradźwiękowym [Jeon i in. 2004b, Deprez i in. 2002b] lub innym [Pochi i Vannucci 2002]. Czujniki w systemie są wykorzystywane do pomiaru odległości do powierzchni ziemi lub górnej części rośliny. Systemy takie sprawują kontrolę nad belką polową, ustawiając jej odpowiednią wysokość i pochylenie w zależności od ukształtowania terenu (lub wysokości i układu opryskiwanych roślin). Wszystkie operacje wykonywane są automatycznie, tak by utrzymać stałą wysokość rozpylaczy nad roślinami i tym samym zagwarantować możliwie najwyższą jakość zabiegu. Pozwala to operatorowi skupić się jedynie na precyzyjnym prowadzeniu ciągnika oraz zwiększyć prędkość roboczą opryskiwania zwiększając wydajność pracy [Popławski i Szulc 2010]. W żadnym jednak z systemów czynnego prowadzenia belki oprysk nie jest kontrolowany (sterowany) w sposób idealny. Szczególnie ma tu znaczenie fakt, że większość klasycznych i nowych konstrukcji układów stabilizacji belek koncentruje się na minimalizacji pionowych wahań belki, gdy tymczasem przeprowadzone studium literaturowe [Anthonis i in. 2005, Lardoux i in. 2007a, Lardoux i in. 2007b, Ramon i De Baerdemaeker 1997] pokazało, że na jakość oprysku większy wpływ mają poziome ruchy belki.

Kolejny problem stanowi odpowiednie prowadzenie belki w przypadku jazdy po powierzchniach pochyłych. Tradycyjne rozwiązania, działające na bazie grawitacji, stabilizują położenie belki docelowo w pozycji równoległej do gruntu, tylko wtedy, gdy pole jest płaskie. W przypadku pola pochyłego, grawitacyjnie stabilizowana belka będzie ustawiana do pozycji nierównoległej do gruntu. Może prowadzić nie tylko do nierównomierności w dystrybucji cieczy użytkowej, ale nawet do uszkodzenia belki w przypadku jej kontaktu z podłożem. W takim przypadku stosowanie układów stabilizacji biernej - niezależnie od układu zawieszenia belki polowej: trapezowego lub wahadłowego, nie pozwoli na prawidłowe prowadzenie belki polowej. Jedynym rozwiązaniem jest zastosowanie stabilizacji czynnej opartej o czujniki mierzące odległość belki od gruntu [Deprez i in. 2003].

## Podsumowanie i wniosek

Zawieszenie belki polowej jest najważniejszą częścią opryskiwacza. Jakikolwiek ruch opryskiwacza przenoszony jest bezpośrednio na belkę, co przekłada się na zmianę strumienia rozpylanej cieczy w stosunku do opryskiwanych roślin, powodując nierównomierne pokrycie roślin środkiem chemicznym.

Wszystkie stosowane obecnie układy stabilizacji belki polowej są nieidealne. Wciąż pojawiają się nowe propozycje układów zawieszenia belki [Anthonis i Ramon 2003, Deprez i in. 2002a, Kennes i in. 1999], jej stabilizacji [Deprez i in. 2003, Popławski i Szulc 2010] oraz optymalizacji istniejących rozwiązań [Anthonis i in. 2005, Deprez i in. 2003]. Prowadzone są również prace nad oprzyrządowaniem (szczególnie w różnego rodzaju czujniki, m.in. przyspieszenia i odległości) belki polowej [Jeon i in. 2004b, Pochi i Vanucci 2002], mające na celu zarówno lepsze (szybsze i dokładniejsze) wykrywanie zmian położenia belki, jak i przyszłościowo jej stabilizację nie względem podłoża, ale powierzchni asymilacyjnej roślin [Popławski i Szulc 2010]. Warto także wspomnieć, że testy różnych rozwiązań prowadzone są różnymi metodami w warunkach sztucznych i naturalnych i brakuje ujednoczonej metodyki w tym zakresie [Clijmans i in. 2000, Jeon i in. 2004, Lardoux i in. 2007a].

W kontekście przeprowadzonego studium literaturowego trzeba zwrócić uwagę na kolejną kwestię - wielu autorów [Anthonis i in. 2005, Lardoux i in. 2007a, Lardoux i in. 2007b, Ramon i De Baerdemaeker 1997] wskazuje, że krytyczny wpływ na jakość oprysku mają ruchy belki w poziomie, a nie w pionie, podczas gdy większość cytowanych w artykule prac skupia się na minimalizacji wahań belki właśnie w pionie. Spostrzeżenie to otwiera pole do optymalizacji rozwiązań stosowanych w zakresie minimalizacji wahań poziomych belki, niesłusznie do tej pory zaniebawianych.

Należy sobie także zadać pytanie czy nie byłoby zasadnym zastąpienie systemów przywracających właściwe położenie belki po jej odchyleniu od pozycji pożądanej na systemy aktywnie zmieniające jej położenie jeszcze przed przeszkodą terenową - w takim momencie, by z kolei nie zaburzyć dawki cieczy przypadającej na powierzchnię przed przeszkodą. Działanie takich układów może się opierać np. o czujniki optyczne kopiujące teren w określonej odległości przed kołami agregatu i optymalizujące moment wymuszonej korekcji położenia belki.

Podsumowując należy podkreślić, iż z uwagi na to, że żaden z obecnie stosowanych systemów stabilizacji belki polowej opryskiwacza nie jest idealny, prace nad nowymi konstrukcjami oraz optymalizacją obecnie stosowanych, są jak najbardziej uzasadnione.

## Bibliografia

- Anthonis J., Audenaert J., Ramon H.** 2005. Design Optimisation for the Vertical Suspension of a Crop Sprayer Boom, *Biosystems Engineering* 90(2). s. 153–160.
- Anthonis J., Ramon H.** 2003. Design of an active suspension to suppress the horizontal vibration of a spray boom. *Journal of Sound and Vibration* 266(3). s. 573-583.
- Clijmans L., Ramon H., Sas P., Swevers J.** 2000. Sprayer Boom Motion, Part 2: Validation of the Model and Effect of Boom Vibration on Spray Liquid Deposition. *Journal of Agricultural Engineering Research* 76. s. 121-128.
- Deprez K., Anthonis J., Ramon H.** 2003. System for vertical boom corrections on hilly fields. *Journal of Sound and Vibration* 266(3). s. 613-624.

- Deprez K., Anthonis J., Ramon H., Van Brussel H.** 2002a. Development of a Slow Active Suspension for Stabilizing the Roll of Spray Booms, Part 1: Hybrid Modelling. *Biosystems Engineering* 81(2). s. 185-191.
- Deprez K., Anthonis J., Ramon H., Van Brussel H.** 2002b. Development of a Slow Active Suspension for Stabilizing the Roll of Spray Booms, Part 1: Controller Design. *Biosystems Engineering* 81(3). s. 273-279.
- Holownicki R.** 2006. Technika opryskiwania roślin. Wydawnictwo Plantpress Kraków, ISBN 83-89874-50-4.
- Jeon H.Y., Womac A.R., Gunn J.** 2004a. Sprayer boom dynamic effects on application uniformity. *Transactions of the ASAE* 47(3), s. 647-658.
- Jeon H.Y., Womac A.R., Wilkerson J.B., Hart W.E.** 2004b. Sprayer boom instrumentation for field use. *Transactions of the ASAE* 47(3). s. 659-666.
- Kennes P., Ramon H., De Baerdemaeker J.** 1999. Modelling the Effect of Passive Vertical Suspensions on the Dynamic Behaviour of Sprayer Booms. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72. s. 217-229.
- Langenakens J.J., Clijmans L., Ramon H., De Baerdemaeker J.** 1999. The Effects of Vertical Sprayer Boom Movements on the Uniformity of Spray Distribution. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74. s. 281-291.
- Lardoux Y., Sinfort C., Enfalt P., Sevilla F.** 2007a. Test Method for Boom Suspension Influence on Spray Distribution, Part I: Experimental Study of Pesticide Application under a Moving Boom. *Biosystems Engineering* 96(1). s. 29-39.
- Lardoux Y., Sinfort C., Enfalt P., Miralles A., Sevilla F.** 2007b. Test Method for Boom Suspension Influence on Spray Distribution, Part II: Validation and Use of a Spray Distribution Model. *Biosystems Engineering* 96(2). s. 161-168.
- Pochi D., Vannucci D.** 2002. A System with Potentiometric Transducers to Record Spray Boom Movements under Operating Conditions. *Biosystems Engineering* 82(4), s. 393-406.
- Popławski Z., Szulc T.** 2010. Innowacyjne rozwiązania w technice ochrony roślin. Cz. 1. Elementy wyposażenia rolniczych opryskiwaczy polowych. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna* 1/2010
- Ramon H., De Baerdemaeker J.** 1997. Spray Boom Motions and Spray Distribution: Part 1, Derivation of a Mathematical Relation. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66. s. 23-29.
- Ramon H., Missotten B., De Baerdemaeker J.** 1997. Spray Boom Motions and Spray Distribution: Part 2, Experimental Validation of a Mathematical Relation and Simulation Results. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66. s. 31-39.
- Szewczyk A.** 2010. Analiza ustawienia, parametrów i warunków pracy rozpylacza w aspekcie jakości opryskiwania upraw polowych. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. ISSN 1898-1151, ISBN 978-83-7717-003-8.
- Szulc T.** 2011. Systemy stabilizacji belek polowych. Cel równomierny oprysk. *Rolniczy Przegląd Techniczny* 3(145). s. 52-54.

## **A SURVEY OF STABILISATION SYSTEMS OF FIELD SPRAYING MACHINE TOOLBARS**

**Abstract.** The purpose of the work was to present stabilisation systems of the field spraying machines toolbars and issues and challenges for designers of the systems. The study presents direction of works, which theoretically gives the biggest chance for improving presently used stabilisation systems of the field spraying machines toolbars. Appropriateness of conducting works on new stabilisation systems of the field spraying machines toolbars was presented as well as the actions, which currently optimise known solutions.

**Key words:** field spraying machine, spray quality, field toolbar stabilisation

**Adres do korespondencji:**

Adam J. Lipiński; e-mail: adam.lipinski@uwm.edu.pl  
Katedra Maszyn Roboczych i Procesów Separacji  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
ul. Oczapowskiego 11  
10-719 Olsztyn