dr hab. inż. Tomasz NOWAKOWSKI, dr inż. Adam STRUŻYK, mgr inż. Daniel LAURYN
SGGW w Warszawie, Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
e-mail: tomasz_nowakowski@sggw.pl; adam_struzyk@sggw.pl

ANALIZA ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH MECHANICZNYCH PIELNIKÓW DO ZWALCZANIA CHWASTÓW W RZĘDACH ROŚLIN

Streszczenie

W pracy przedstawiono przegląd rozwiązań technicznych aktywnych pielników do zwalczania chwastów w rzędach roślin. Przedstawiono dwie główne grupy pielników. W pierwszym rozwiązaniu napęd elementu roboczego realizowany jest za pomocą ruchu obrotowego uzyskiwanego od silników elektrycznych bądź hydraulicznych, w których oś silnika ustawiona jest pionowo bądź równolegle do kierunku jazdy. W drugim rozwiązaniu ruch elementu roboczego uzyskiwany jest poprzez mechanizmy dźwigniowe od siłowników pneumatycznych umieszczonych w płaszczyźnie prostopadłej bądź równoległej do powierzchni pola.
***Słowa kluczowe**: pielnik, zwalczanie chwastów*

Wprowadzenie

Zmiany zachodzące w ostatnim czasie w produkcji rolniczej podporządkowane są konsumentom. Wymagania, jakie oni stawiają, to wysokiej jakości i zdrowe produkty żywnościowe za akceptowalną cenę i ich dostępność przez cały rok. Rosnąca świadomość konsumentów wymusza również to, aby produkty rolne i artykuły spożywcze nie były produkowane w sposób negatywnie wpływający na środowisko [8, 12]. Jednak rolnicy dążąc do ograniczenia kosztów produkcji i uzyskania wysokiego zysku za swoje produkty zmuszeni są do osiągania wysokiej wydajności upraw. Takie podejście przez rolników i konsumentów do produkcji rolniczej wymusza zmiany mające na celu ograniczanie stosowania środków ochrony roślin oraz stosowanie technik ograniczających niekontrolowane ich rozprzestrzenianie [14-16]. Dodatkowo nadmierne i niestabilne stosowanie herbicydów doprowadziło do wytworzenia przez wiele chwastów odporności na herbi-cydy [25].

Zastosowanie w uprawach rzędowych klasycznych pielników pozwala na zwalczanie chwastów z powierzchni pola równej około 80% [10, 24]. Chwasty pozostawione między i wokół roślin uprawnych mogą nie tylko obniżyć plony, ale stanowią jeden z najważniejszych sposobów rozprzestrzeniania i przetrwania patogenów roślin uprawnych. Chwasty znajdujące się w tym obszarze mają znacznie większy wpływ na rozwój roślin i plon końcowy, gdyż rośliny muszą konkurować z chwastami o wodę i składniki pokarmowe [6]. Szacuje się, że spadek plonu z tytułu zachwaszczenia może dochodzić do 34% [17]. Dlatego tak ważnym kierunkiem jest rozwój pielników pracujących w rzędzie roślin. Głównym problemem jest opracowanie takiej maszyny, która może być dostosowana do różnych gatunków roślin uprawnych, o różnych rozstawach rzędów i różnym rozstawie roślin w rzędach, uwzględniając jednocześnie fazy wzrostu tych roślin. Opracowane rozwiązania stanowią oddzielną grupę maszyn, które są kombinacją klasycznego pielnika międzyrzędowego i precyzyjnego pielnika pracującego w obszarze rzędów roślin [4, 5, 30].

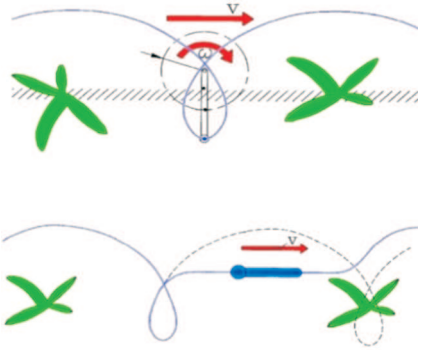
Celem pracy jest przedstawienie i analiza rozwiązań technicznych aktywnych maszyn do zwalczania chwastów w rzędzie roślin.

Przegląd rozwiązań technicznych do zwalczania chwastów w rzędach roślin

Aktywne pielniki do mechanicznego zwalczania chwastów w rzędach roślin opierają się na dwóch koncepcjach napędu elementów roboczych. Jednym z nich jest zastosowanie do napędu elementów pielących silników elektrycznych bądź hydraulicznych o osiach ustawionych pionowo bądź równolegle do kierunku jazdy [1]. Drugą koncepcją jest zastosowanie siłowników pneumatycznych wymuszających poprzez układ dźwigniowy ruch elementów roboczych.

Do pierwszej grupy zalicza się rozwiązanie pielnika o cykloidalnym ruchu elementu roboczego [11, 13, 25]. Na pionowym wirniku napędzanym przez silnik hydrauliczny i przekładnię redukcyjną znajduje się obudowa zębów wirnika. Do wirnika może być zamocowanych do ośmiu ramion obracających się wokół jego osi o średnicy 0,234 m [11]. Ruch liniowy ciągnika i obrotowy ramion wirnika wyznacza cykloidalny tor elementu roboczego (rys. 1). Każde ramię zamocowane jest przez elektromagnetyczny zawór, a wyłączenie go umożliwia ominięcie przez ramię pielonej rośliny. System jest nadal w fazie doskonalenia mającego na celu zwiększanie prędkości ruchu agregatu, zmniejszenia uszkodzeń roślin czy uniezależnienia się od stan gleby (bryły na powierzchni).

a)



b)

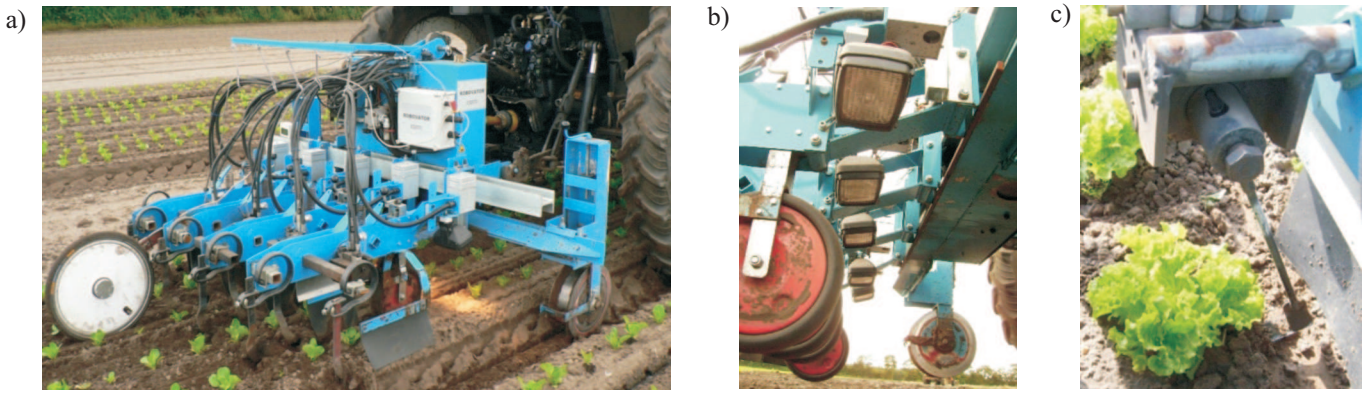
Rys. 1. Pielnik o cykloidalnym ruchu elementu roboczego: a) istota działania, b) widok sekcji pielącej [10, 20]
Fig. 1. Hoe with cycloidal motion of working element: a) the nature of action, b) section view [10, 20]

Rys. 2. Pielnik o cykloidalnym ruchu elementu roboczego: a) pielnik podczas pracy, b) widok sekcji pielącej, c) fazy pracy elementu roboczego [27, materiały własne]
Fig. 2. Hoe with cycloidal motion of working element a) hoe during work, b) section view, c) work phase of operating element [27, own materials]

Na zaproponowanym rozwiązaniu oparto kolejny system pielenia w rzędzie roślin, w którym nad linią roślin znajdują się silniki hydrauliczne, na osiach których zamocowane są wykorbione wały. Dwukrotne wygięcie wału tworzy charakterystyczny łuk. Dzięki zastosowaniu tego kształtu, obracający wał wykonuje półokrąg nie uszkadzając roślin. Do wałów zamocowane są podcinacze nożowe w kształcie półksiężyca (rys. 2). Dwie kamery monitorują rzędy roślin identyfikując pojedyncze rośliny. W oparciu o informację z kamer ramiona wprowadzane są w rząd roślin powodując podcinanie chwastów lub omijają rośliny uprawne znajdujące się w rzędzie [3, 22]. W sytuacji, kiedy w rzędzie roślin występują „przepusty" (czyli brak roślin), podcinacze wprowadzone ruchem obrotowym w rząd są w nim zatrzymywane i następuje liniowe wycinanie chwastów do momentu pojawienia się kolejnych roślin.

W pielniku firmy F. Poulsen Engineering ApS zastosowano indywidualne kamery dla każdej sekcji pielącej, które sterują elementem wykonawczym w postaci wahadłowej motyki (rys. 3). Nad rzędem roślin znajdują się lampy oświetlające rząd roślin i tuż za nimi kamery (rys. 3b). Rozwiązanie to umożliwia prace w niedostatecznym oświetleniu, a nawet w nocy. Za optycznym systemem rozpoznawania roślin znajduje się wał ustawiony równolegle do rzędu roślin. Na jednym końcu znajduje się elektro-hydrauliczny system obrotu, a na drugim ramię ustawione pionowo w stosunku do powierzchni pola. Do końca ramienia zamocowana jest motyka (nóż podcinający). Podczas ruchu pielnika motyka pracuje w rzędzie roślin, a kiedy system rozpoznawania roślin wskazuje na zbliżenie się motyki do pielonej rośliny, elektro-hydrauliczny układ powoduje wychylenie motyki i ominięcie rośliny (rys. 3c). Po ominięciu rośliny układ hydrauliczny wymusza powrót motyki do pracy w rzędzie roślin.

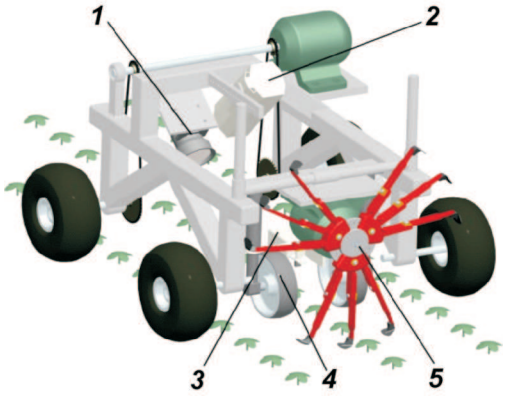
W pracach badawczych można znaleźć rozwiązania prototypowe pielników pracujących w rzędzie roślin, opierające się na wirtualnych modelach. Przykładem takiego rozwiązania jest pielnik z obrotową motyką [7-9]. Układ napędowy stanowi poziomo zamocowany silnik, na którego osi zamocowano tarczę (rys. 4a). Do tarczy w zależności od rozstawu roślin w rzędzie mogą być mocowane motyki: pojedynczo, w układzie podwójnym lub potrójnym w rozstawie co 120° (rys. 4b). Całość podwieszona jest na czterokołowej ramie powyżej rzędu upra-



Rys. 3. Pielnik z motyką o ruchu wahadłowym: a) pielnik podczas pracy, b) system indywidualnych kamer przed sekcjami pielącymi, c) ominięcie rośliny przez motykę [29]
Fig. 3. Hoe with the swing motion of working element: a) hoe during work, b) system of individual cameras in front of the weeding sections, c) passing by the plant by the hoe [29]

wy. Dzięki czujnikowi prędkości jazdy i optycznemu systemowi identyfikacji roślin, system oblicza prędkość obrotową wału silnika uwzględniając odległości wewnątrz rzędu między roślinami i obserwowanego położenia ramion. Sensor użyty do rozpoznawania roślin pozwala na identyfikację roślin w zakresie 70-98%, w zależności od warunków glebowych i doboru parametrów układu rozpoznającego.

a)



b)

Rys. 4. Pielnik z obrotową motyką: a) ogólna zasada działania, b) układ pojedynczej motyki, 1 - czujnik prędkości ruchu, 2 - system prowadzenia wzdłuż rzędu, 3 - system identyfikacji roślin, 4 - układ regulacji głębokości roboczej, 5 - wirnik motyki obrotowej [7, 8]
Fig. 4. Hoe with rotary working element: a) the general principle of operation, b) system of the single hoe, 1 - speed sensor, 2 - row guidance system, 3 - system of plant identification, 4 - working depth control system, 5 - rotor of rotary hoe [7, 8]

W kolejnym rozwiązaniu zastosowano mechanizm dwóch ramion sterowanych siłownikami pneumatycznymi ułożonymi równolegle do kierunku ruchu pielnika (rys. 5). Do tłoczyska siłownika zamocowano dwa płaskowniki, które są połączone obrotowo z dwoma ramionami zamocowanymi wahadłowo do ramy. Do każdego ramienia zamocowano pionowy trzonek zakończony nożowym podcinaczem. Faza pracy w rzędzie roślin następuje w momencie cofnięcia tłoka siłownika, wtedy ramiona wykonują „nożycowy ruch" dosuwając do siebie dwa nożowe podcinacze tworząc razem dwustronny nóż kątowy. Kiedy tłok siłownika wysuwa się, następuje rozchylenie nożowych podcinaczy i ominięcie pielonej rośliny.

Zbliżone konstrukcyjnie rozwiązanie zastosowano we francuskim w pielniku Sarl Radis (rys. 6). Dla każdego ramienia z trzonkiem i nożem podcinającym zastosowano oddzielny siłownik pneumatyczny [2, 23]. Obecnie pielnik może pracować z prędkością 4-5 km·h^{-1}. Prace nad doskonaleniem konstrukcji mają na celu optymalizację pracy trzonka z nożem podcinającym poprzez dostosowanie ciśnienia powietrza zasilającego siłownik pneumatyczny i długości ramienia trzymającego trzonek. Odpowiednie dobranie tych parametrów pozwoli na poprawę cykli pracy całego układu podcinającego i zwiększenie prędkości roboczej do 6-7 km·h^{-1}.

a)

b)

c)

Rys. 5. Pielnik o „nożycowym" ruchu elementu roboczego: a) pielnik podczas pracy, b) faza ominięcia rośliny, c) faza pracy w rzędzie roślin [28]
Fig. 5. Hoe with "scissor" movement of the working element: a) hoe during work, b) phase of passing round the plant by hoe, c) phase of the work in the row of plants [28]

a)

b)

Rys. 6. Pielnik Sarl Radis: a) pielnik podczas pracy, b) widok sekcji roboczej [2, 26]
Fig. 6. Sarl Radis hoe: a) hoe during work, b) the working section view [2, 26]

a) b) c)

Rys. 7. System pielenia w rzędzie przy wykorzystaniu mapy (GPS) sadzonych roślin: a) sadzarka z systemem GPS tworząca mapę roślin, b) faza pracy elementu pielącego w rzędzie, c) faza pracy elementu pielącego omijającego sadzonki [21]
Fig. 7. System of weeding in the row based on the map (GPS) of planted plants: a) planter with the system creating the GPS map of plants, b) phase of work of the weeding element in the row, c) phase of work of the weeding element passing round the plants [21]

Kolejnym rozwiązaniem pielnika pracującego w rzędzie roślin jest system opracowany przez amerykańskich i hiszpańskich naukowców [18, 21]. System ten wykorzystuje automatycznie wygenerowaną mapę (GPS), która tworzona jest w momencie sadzenia roślin i w oparciu o nią sterowane są elementy robocze pielnika (rys. 7). Specjalnie wyposażona w system GPS sadzarka, w trakcie sadzenia roślin tworzy w czasie rzeczywistym geoprzestrzenną mapę sadzonych roślin. Pielnik jest wyposażony w kontroler, do którego wgrywa się opracowaną wcześniej mapę. Pracująca maszyna wykorzystuje utworzoną w ten sposób mapę, rozpoznając pozycję pojedynczych roślin. Każda sekcja pielnika ma układ dwóch ramion, na końcach których znajdują się poziome noże (podcinacze). Ramiona zamocowane są wahadłowo w stosunku do ramy, a za ich wychylenie odpowiadają siłowniki pneumatyczne. Dla prędkości agregatu do 1,6 km·h^{-1} uzyskano zadowalające efekty pracy. Przeprowadzone badania wykazały zmniejszenie o 52% liczby roboczogodzin potrzebnych do pielenia w rzędach roślin, w stosunku do pracy ręcznej.

Podsumowanie

O efekcie ograniczenia zachwaszczenia decyduje głównie wiedza rolnika i umiejętność właściwego doboru i terminowo wykonanego zabiegu odchwaszczania. Nowoczesne pielniki poprzez zastosowanie skomplikowanych i zawansowanych rozwiązań technicznych odciążają operatora pozwalając na zwiększenie precyzji wykonania zabiegów. Nowoczesne układy pielące rośliny, bazują głównie na zastosowaniu kamer oraz systemów GPS i RTK, które charakteryzują się dobrą skutecznością pracy przy małym zachwaszczeniu rzędu roślin wokół roślin uprawnych. Jednak ze wzrostem zachwaszczenia występuje konieczność ograniczenia prędkości roboczej. Mimo tego stosowanie tych systemów jest najbardziej obiecującą strategią w zwalczaniu chwastów wokół roślin uprawnych. Dlatego nadal podejmowane są prace badawcze poszukujące rozwiązań zwiększających efektywność ograniczenia zachwaszczenia jednocześnie zapewniając wysoką wydajność przeprowadzanych zabiegów.

Bibliografia

[1] Ahmad M. T.: Development of an automated mechanical intra-row weeder for vegetable crop. Graduate Theses and Dissertations, 2012, 118 pp.
[2] Bleeker P., Huiting H., Weide R.: Update on new innovations for intra-row weed control, 2011, ss. 21.
[3] Dedius A.P.: An investigation into the design of precision weeding mechanisms for inter and intra-row weed control, 2007, ss. 265.
[4] Dobrzański A., Adamczewski K.: Niechemiczne metody zwalczania chwastów stan obecny i perspektywy. s. 55-98 [W:] Współczesna inżynieria rolnicza - osiągnięcia i nowe wyzwania, t. III, red. Hołownicki R., Kuboń M., Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, 2013, 443 ss.
[5] Doruchowski G.: Postęp i nowe koncepcje w rolnictwie precyzyjnym. Inżynieria Rolnicza, 2008, 9(107), 1931.
[6] Dziubański S., Rabcewicz J., Białkowski P.: Kierunki rozwoju elementów roboczych do mechanicznego zwalczania chwastów w uprawach ekologicznych. Inżynieria rolnicza, 2013, 3(145) T.1, 47-58.
[7] Gobor Z., Schulze Lammers P.: Prototype of a rotary hoe for intra-row weeding. 12th IFToMM World Congress, Besançon (France), June 18-21, 2007.
[8] Gobor Z.: Development of a novel mechatronic system for mechanical weed control of the intra-row area in row crops based on detection of single plants and adequate controlling of the hoeing tool in real-time. Institut für Landtechnik Rheinsche Fridrich-Wilhelms-Universität, 2007, 151 pp.
[9] Gobor, Z., Schmittman, O., Schulze Lammers, P.: Mechanical weeding - concept of inter-row and intra-row hoeing. 5 European Conference on Precision Agriculture, Book of abstracts, Uppsala (Sweden) June 9-11, 2005, 99-101.
[10] Griepentrog H. W., Noerremark M., Nielsen J., Ibarra J. S.: Autonomous Inter-Row Hoeing using GPS-based side-shift control. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript ATOE 07 005. Vol. IX. July, 2007, 9 pp.
[11] Griepentrog H.W., Norremark M., Nielsen J.: Autonomous intra-row Athanasios P. Dedousis, School of Applied Sciences 9-7 Engineering World Congress, Bonn, Germany, 2006.
[12] Neuerburg W., Padel S.: Rolnictwo ekologiczne w praktyce. Wyd. Stowarzyszenie EKOLAND Stiftung LEBEN & UMWELT, Warszawa, 1994, 316 ss.
[13] Nørremark, M. Griepentrogb H.W., Nielsenb J., Sŕgaard H.T.: The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops. Biosystems Engineering, 2008, 396-410.
[14] Nowakowski T.: Jak ograniczyć znoszenie cieczy? Nowe kierunki. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2006, 7: 14-15.

[15] Nowakowski T.: Metody ograniczenia znoszenia cieczy podczas ochrony roślin. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2005, 5: 14-16.
[16] Nowakowski T.: Współdziałanie wybranych parametrów oprysku na współczynnik zmienności rozkładu poprzecznego cieczy. Inżynieria Rolnicza, 2007, 3(91): 135-141.
[17] Oerke E. C.: Crop losses to pests. Journal of Agricultural Science, 2006, 144, 31-43.
[18] Pérez-Ruiz M., Slaughter D.C., Gliever C.J., Upadhyaya S.K.: Automatic GPS-based intra-row weed knife control system for transplanted row crops. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 80, 41-49.
[19] Rabcewicz J.: Niechemiczne metody zwalczania chwastów. Rola precyzyjnej i bezpiecznej techniki ochrony roślin w podnoszeniu innowacyjności polskiego rolnictwa, Nieborów 1-5.06.2009, 35 ss.
[20] Rasmussen J., Griepentrog H.W., Nielsen J., Henriksen C.B.: Automated intelligent rotor tine cultivation and punch planting to improve the selectivity of mechanical intra-row weed control. Weed Research, 2012, 52, 327-337.
[21] Slaughter D.C., Perez-Ruiz M., Fathallah F., Upadhyaya F.: GPS-based intra-row weed control system: performance and labor savings, 2012, 5 pp.
[22] Tillett N.D., Haguea T., Grundyb A.C., Dedousisc A.P.: Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. Biosystems Engineering, 2008, 99, 171-178.
[23] Upadhyaya M.K., Blackshaw R.E.: Non-chemical weed management. Principles, Concepts and Technology. Biddies Ltd. King's Lynn, 2007, 240 pp.
[24] Waszkiewicz Cz., Trzciński A.: Badania porównawcze pielnika aktywnego i biernego. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 1996, 6, 5-6.
[25] Weis M., Keller M., Rueda-Ayala V.: Herbicide Reduction Methods, s. 95-120. [W:] Herbicides - Environmental Impact Studies and Management Approaches, 2012, 248 pp.
[26] www.farmersguardian.com.
[27] www.garford.com.
[28] www.steketee.com.
[29] www.visionweeding.com.
[30] Zbytek Z.: Ekspertyza. Niemechaniczne (mechaniczne) metody zwalczania chwastów dla produkcji ekologicznej. PIMR, Poznań. 2009, 23 ss.

ANALYSIS OF CONSTRUCTIONAL SOLUTIONS OF MECHANICAL HOES FOR WEED CONTROL IN THE CROP ROWS

Summary

The paper presents review of technical solution of driven hoes for weed control in crop rows. Two main groups of hoes are presented. In the first group of hoes, drive of working element is realized by means of rotational movement obtained by electric or hydraulic motors, in which the engine axis is set vertically or in parallel to the main direction of working movement. In second group of hoes, the movement of the working element is obtained by lever mechanisms from pneumatic cylinders located in perpendicular or parallel plane in relation to the field.
***Key words**: hoe, weed control*

KOSZTY PRACY MASZYN LEŚNYCH

ISBN 978-83-927505-2-9

Książka adresowana jest przede wszystkim do prywatnych przedsiębiorców Leśnych, Służb Leśnych i pracowników technicznych w Nadleśnictwach, Dyrekcjach Regionalnych oraz Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych i ma na celu przedstawienie sposobu wyliczenia kosztów usług maszynowych wykonywanych w lasach.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31
tel. 061 87-12-200; fax 061 879-32-62;
e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: http://www.pimr.poznan.pl